

#2 | Priority
Paper
3-26-01
R. H. H. H.

Docket No. 1460.1014/HJS

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of:

Yutaka KAI et al.

Group Art Unit:

Serial No.:

Examiner:

Filed: December 19, 2000

For: WAVELENGTH-TUNABLE STABILIZED LASER



SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIOR
FOREIGN APPLICATION IN ACCORDANCE WITH
THE REQUIREMENTS OF 37 C.F.R. § 1.55

Assistant Commissioner for Patents
Washington, D.C. 20231

Sir:

In accordance with the provisions of 37 C.F.R. § 1.55, the applicant(s) submit(s)
herewith a certified copy of the following foreign application(s):

Japanese Patent Application No. 2000-061201
Filed: March 6, 2000

It is respectfully requested that the applicant(s) be given the benefit of the foreign filing
date, as evidenced by the certified papers attached hereto, in accordance with the requirements
of 35 U.S.C. § 119.

Respectfully submitted,
STAAS & HALSEY LLP

Date: December 19, 2000

By: _____

H. J. Staas

Registration No. 22,010

700 Eleventh Street, N.W.
Suite 500
Washington, D.C. 20001
Telephone: (202) 434-1500
Facsimile: (202) 434-1501

日 本 国 特 許 庁
PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2000年 3月 6日

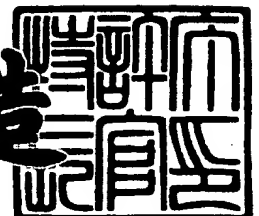
出 願 番 号
Application Number: 特願2000-061201

出 願 人
Applicant (s): 富士通株式会社

2000年 9月 8日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2000-3072532

【書類名】 特許願

【整理番号】 9951586

【提出日】 平成12年 3月 6日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01S 3/13
G02F 1/01
H04J 14/00

【発明の名称】 波長可変安定化レーザ

【請求項の数】 14

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

【氏名】 甲斐 雄高

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

【氏名】 宮田 英之

【特許出願人】

【識別番号】 000005223

【氏名又は名称】 富士通株式会社

【代理人】

【識別番号】 100072718

【弁理士】

【氏名又は名称】 古谷 史旺

【電話番号】 3343-2901

【選任した代理人】

【識別番号】 100075591

【弁理士】

【氏名又は名称】 鈴木 榮祐

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 013354

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9704947

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 波長可変安定化レーザ

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 複数の波長を発振可能なレーザを複数個備える光源と、
前記光源から射出されたレーザ光が入射され、周期的な透過波長特性を持つ周期的フィルタと、

前記周期的フィルタから射出されたレーザ光が入射され、前記入射されたレーザ光の光強度を検出する光検出手段と、

前記複数のレーザのうちからいずれか 1 個のレーザを所望の波長で発振させるとともに、前記光検出手段の出力が前記複数の波長ごとに設定される複数の目標値のうちから前記所望の波長に対応する目標値になるように前記発振させたレーザの発振波長を制御する制御手段とを備えること

を特徴とする波長可変安定化レーザ。

【請求項 2】 前記光源から射出されるレーザ光は、ほぼ一定の波長間隔であり、

前記周期的フィルタの周期は、前記一定の波長間隔であり、

前記制御手段の複数の目標値は、透過波長特性における隣接する 2 極値間に設けられること

を特徴とする請求項 1 に記載の波長可変安定化レーザ。

【請求項 3】 前記複数の波長のうちの中央波長に対応する目標値は、前記透過波長特性における隣接する 2 極値間のほぼ中央に設けられること

を特徴とする請求項 2 に記載の波長可変安定化レーザ。

【請求項 4】 前記制御手段は、前記 1 個のレーザを発振させる際に、前記所望の波長と前記所望の波長に最も近い前記透過波長特性の極値を与える波長との間の波長範囲であって、前記波長範囲のうちの前記透過波長特性における隣接する 2 極値間のほぼ中央の波長を含む方で発振させてから前記発振波長を制御すること

を特徴とする請求項 2 に記載の波長可変安定化レーザ。

【請求項 5】 前記制御手段は、前記 1 個のレーザを発振させる際に、前記

所望の波長に最も近い波長であって前記透過波長特性における隣接する 2 極値間のほぼ中央の波長で発振させてから前記発振波長を制御すること

を特徴とする請求項 2 に記載の波長可変安定化レーザ。

【請求項 6】 外部に取り出されるべきレーザ光を増幅する光増幅手段をさらに備えること

を特徴とする請求項 2 に記載の波長可変安定化レーザ。

【請求項 7】 前記光増幅手段は、飽和領域で使用されることを特徴とする請求項 6 に記載の波長可変安定化レーザ。

【請求項 8】 前記レーザは、半導体レーザであり、前記制御手段は、前記 1 個のレーザの素子温度を制御することによって前記発振波長を制御すること

を特徴とする請求項 2 に記載の波長可変安定化レーザ。

【請求項 9】 前記レーザは、半導体レーザであり、前記制御手段は、前記 1 個のレーザの駆動電流を制御することによって前記発振波長を制御すること

を特徴とする請求項 2 に記載の波長可変安定化レーザ。

【請求項 10】 前記レーザは、半導体レーザであり、前記制御手段は、前記 1 個のレーザを発振させる際には素子温度を制御し、前記発振波長を制御する際には駆動電流を制御すること

を特徴とする請求項 2 に記載の波長可変安定化レーザ。

【請求項 11】 前記周期的フィルタは、前記透過波長特性の周期および温度依存性が共通である複数個のフィルタであり、

前記光検出手段は、前記複数個のフィルタの個数に対応する個数であることを特徴とする請求項 1 に記載の波長可変安定化レーザ。

【請求項 12】 前記光源から射出されるレーザは、ほぼ一定の波長間隔であり、前記一定の波長間隔を複数の波長範囲に分け、分けられた前記波長範囲のそれぞれは、前記複数個のフィルタのそれぞれの透過波長特性における隣接する 2 個の極値を与える波長範囲内にあること

を特徴とする請求項 11 に記載の波長可変安定化レーザ。

【請求項 1 3】 前記周期的フィルタは、前記レーザにおける発振波長の温度依存性に応じた透過波長特性の温度依存性を持つフィルタであること

を特徴とする請求項 1 に記載の可変波長安定化レーザ。

【請求項 1 4】 複数の波長を発振可能なレーザと、

前記レーザから射出されたレーザ光が入射され、前記レーザの発振波長の温度依存性に応じた透過波長特性の温度依存性を持つ周期的フィルタと、

前記周期的フィルタから射出されたレーザ光が入射され、前記入射されたレーザ光の光強度を検出する光検出手段と、

前記複数の波長のうちからいずれか 1 波のレーザ光を発振させるとともに、前記光検出手段の出力が前記複数の波長に対し共通に設定される目標値になるように前記発振させたレーザ光の発振波長を制御する制御手段とを備えること

を特徴とする波長可変安定化レーザ。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、射出される 1 波のレーザの波長を変更することができる波長可変安定化レーザにおいて、この射出されるレーザ光の波長を所望の波長にほぼ固定することができる波長可変安定化レーザに関する。

将来のマルチメディアネットワークの構築を目指し、超長距離でかつ大容量の光通信装置が要求されている。この大容量化を実現する方式として、波長分割多重 (Wavelength-division Multiplexing、以下、「WDM」と略記する。) 方式が、光ファイバの広帯域・大容量性を有効利用できるなどの有利な点から研究開発が進められている。

特に、WDM方式に使用されるWDM方式用光源装置は、複数の波長でレーザ光を射出する必要がある。さらに、その波長間隔は、標準規格、例えば、ITU-Tの勧告に基づくチャンネル（以下、「ch」と略記する。）ごとに定められたグリッド間隔にする必要があるため、その要求を満たすべくWDM方式用光源装置の研究開発が進められている。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

従来、WDM方式用光源装置は、例えば、4波の波長多重を行うWDM方式光通信システムの場合には、互いに異なる波長のレーザ光を発振する4個の半導体レーザ、または、素子温度や駆動電流を変更することによって発振波長を変えることができる1個の波長可変レーザ（wavelength tunable laser）を備えていた。そして、この波長可変レーザとして、多重量子井戸構造DFBレーザ（以下、「MQW構造DFBレーザ」と略記する。）および可変波長分布ブラッグ反射型レーザ（以下、「可変波長DBRレーザ」と略記する。）などが使用されている。

【0003】

特に、波長可変レーザの使用は、WDM方式用光源装置に常用光源および予備用光源として使用される半導体レーザの個数を削減することができる利点がある。例えば、32波のWDM方式光通信システムにおいて、1波長1個の半導体レーザを使用する場合では、常用光源に32個および予備用光源に32個が必要であるが、4波を発振することができる波長可変レーザを使用する場合では、最大でも常用光源に8個および予備用光源に8個で済む。

【0004】

一方、これら半導体レーザは、定常状態において所定波長の単一モードレーザ光を発振するように回折格子のピッチなどが設計されるが、半導体レーザの立ち上げ時には必ずしも所定波長で発振しない。また、定常状態においても一定のゆらぎが存在し、常に所定波長に固定しているわけではない。さらに、波長可変レーザは、これらの現象が生じるとともに、多波長が発振可能であるため目的の所定波長に安定させる必要がある。

【0005】

そこで、所望の波長に発振波長を固定すべく波長安定化装置がWDM方式用光源装置に使用されている。

図21は、従来のWDM方式用光源装置を示す図である。

図21（a）は、従来のWDM方式用光源装置の構成を示す図である。図21（b）は、c h 0に波長を固定する場合の説明図である。図21（c）は、従来

のマルチ波長安定化装置における各引込範囲と各 c h との関係を示す図である。

【 0 0 0 6 】

図 2 1 (a) において、波長可変レーザ 9 1 1 から射出されたレーザ光は、マルチ波長安定化装置 9 0 5 内の入力光を 2 つに分岐するカプラ 9 1 2 に入射され、そのレーザ光の一部を分岐した後に残りのレーザ光は、WDM 方式用光源装置の出力光として射出される。この波長可変レーザ 9 1 1 は、MQW 半導体レーザであって、例えば、その素子温度を約 8 ～ 1 0 (° C) 変えると発振波長が 0 . 8 (n m) 変化する特性を持つ。WDM 方式光信号は、ITU-T の勧告に基づいて波長間隔が 0 . 8 (n m) で 4 波の光信号が配置されているとすると、波長可変レーザ 9 1 1 は、約 3 0 (° C) の温度範囲で 4 波長のレーザ光を射出可能であり、素子温度を制御することによって 4 波長のうちから 1 波長のレーザ光を射出する。

【 0 0 0 7 】

マルチ波長安定化装置 9 0 5 内において、カプラ 9 1 2 で分岐した一部のレーザ光は、入力光を 2 つに分岐するカプラ 9 1 3 に入射される。このカプラ 9 1 3 で分岐した一方のレーザ光は、ファブリペローエタロンフィルタ (Fabry-perot Etalon Filter 、以下、「ET フィルタ」と略記する。) 9 1 4 を介して、光強度に応じて電流を出力する第 1 ホトダイオード (以下、「PD」と略記する。) 9 1 5 に入射され、そのレーザ光の光強度が検出される。この第 1 PD 9 1 5 の出力値を PD o1 とする。また、カプラ 9 1 3 で分岐した他方のレーザ光は、第 2 PD 9 1 6 に入射され、そのレーザ光の光強度が検出される。この第 2 PD 9 1 6 の出力値を PD o2 とする。

【 0 0 0 8 】

この ET フィルタ 9 1 6 において、透過率の極大値を与える波長は、安定化させたい波長における PD o2 で規格化した PD o1 の値、すなわち、 $PD o1 / PD o2$ が目標値 0 . 5 となるように設定される。

そして、制御用 CPU 9 1 7 は、これら PD o1 および PD o2 を受信し、これらの検出値に基づいて波長可変レーザ 9 1 1 の発振波長を所定波長に固定する制御信号を波長可変レーザ 9 1 1 に送信する。

【 0 0 0 9 】

このような構成のWDM方式用光源装置は、次のように動作して、例えば、 c_{h0} に波長可変レーザ911の発振波長を安定化させる。

図21(a)および(b)において、制御用CPU917は、波長可変レーザ911を立ち上げて、PD01およびPD02を受信してPD01/PD02を算出する。そして、このPD01/PD02が目標値0.5より大きい場合には、制御用CPU917は、発振波長が長くなるように波長可変レーザ911の素子温度を調整して波長可変レーザ911を制御する。一方、波長可変レーザ911を立ち上げた時のPD01/PD02が目標値0.5より小さい場合には、制御用CPU917は、発振波長が短くなるように波長可変レーザ911を制御する。こうして常にPD01/PD02が0.5となるように波長可変レーザ911は、制御され、発振波長は、 c_{h0} に安定化される。

【 0 0 1 0 】

ここで、制御用CPU917は、単にPD01/PD02と目標値0.5との大きさを比較し発振波長を制御するだけの場合には、波長可変レーザ911が図21(b)の点a、点b、点c、点dの波長で立ち上がった場合には、所望の c_{h0} に発振波長を安定化することができるが、波長可変レーザ911が点e、点fの波長で立ち上がった場合には、 c_{h0} 以外の波長で安定化されてしまう。このため、制御用CPU917は、波長可変レーザ911の立ち上げ時の発振波長の範囲を考慮して、立ち上げ時の素子温度も制御する。

【 0 0 1 1 】

このように、WDM方式用光源装置は、立ち上げ時の素子温度を考慮することによって c_{h1} 、 c_{h2} および c_{h3} も c_{h0} の場合と同様に発振波長を安定化することができる。

ここで、レーザ立ち上げ時の波長に対し、波長安定化装置がレーザの発振波長を所望の波長に安定化することができる波長範囲を引込範囲と呼称することにする。

【 0 0 1 2 】

そして、この引込範囲は、図21(c)に示すようにETフィルタ914のF

S R (Free Spectral Range) ごとに P D o 1 / P D o 2 が同一の値となるので、F S R によって決定される。このため、WDM方式光信号の各光信号の波長に合わせるため、E T フィルタ 9 1 4 の F S R は、WDM方式光信号の波長間隔に設定される。

【 0 0 1 3 】

一方、E T フィルタ 9 1 4 は、透過波長特性に温度依存性を持っている。

図 2 2 は、E T フィルタの透過波長特性の温度依存性を示す図である。

図 2 2 の縦軸は、 μ A 単位で表示した検出器の電流値（透過率に相当する。）であり、横軸は、n m 単位で表示した波長である。

E T フィルタの材質は、石英ガラスであり、鏡面の反射率は、2 5 パーセントである。測定温度は、2 2 . 1 (°C)、3 0 . 0 (°C)、3 7 . 9 (°C) および 4 5 . 7 (°C) である。

【 0 0 1 4 】

図 2 2 から分かるように、温度の上昇とともに透過波長特性が長波長側に横軸に沿って平行に約 0 . 0 9 5 (n m / °C) だけシフトする。

【 0 0 1 5 】

【発明が解決しようとする課題】

ところで、通信容量が急増していることから、WDM方式光信号は、多重数の増加が要請されている。このため、WDM方式用光源も、3 2 波や 6 4 波などの多波長を発振可能とする必要がある。一方で、波長可変レーザの素子温度の変更範囲が限られているため、WDM方式用光源装置は、複数個の波長可変レーザを備える必要がある。

【 0 0 1 6 】

このとき、マルチ波長安定化装置は、発振可能なすべての波長に対して所望の波長に安定化する必要があるが、装置内の E T フィルタにおける透過波長特性が温度依存性を持つため、従来の構成では、すべての波長を安定化することができないという問題がある。

特に、温度によって発振波長を変更する波長可変レーザと E T フィルタとを一体化する場合に問題である。

【 0 0 1 7 】

例えば、8波のWDM方式用光源装置が0ch～3chを発振可能な波長可変レーザと4ch～7chを発振可能な波長可変レーザとで構成され、ETフィルタとして石英ガラスを使用する場合を考えると、0chと4ch、1chと5ch、2chと6chおよび3chと7chは、それぞれ同一の素子温度で制御され、また、ETフィルタの透過波長特性は、1(℃)の変化に対して約0.01(nm)だけシフトする温度依存性を持つ。WDM方式光信号の波長間隔を0.8(nm)とすると、各chを発振させるために素子温度を10(℃)ずつ変更する必要があるので、ETフィルタの透過波長特性は、0.1(nm)だけシフトすることになる。

【 0 0 1 8 】

このとき、マルチ波長安定化装置は、例えば、0chと4chが同一の素子温度で制御されるので、0chと4chにそれぞれ対応するレーザ光を安定化するために、従来技術で説明したように、ETフィルタのFSRを0.8(nm)に設定する必要がある。一方、マルチ波長安定化装置は、0ch～3chにそれぞれ対応するレーザ光を安定化するために、ETフィルタのFSRをシフト分を考慮して $0.8 - 0.1 = 0.7$ (nm)に設定する必要がある。

【 0 0 1 9 】

すなわち、マルチ波長安定化装置は、ETフィルタのFSRを一方で0.8(nm)に設定する必要があると同時に他方で0.7(nm)に設定する必要があるので、従来の構成では両要求を両立し難いという問題である。

また、通信容量の増加のために、伝送速度を2.5Gbpsから10Gbpsに向上しようとする、従来構成では、高速変調によるスペクトル線幅の問題や相対強度雑音の問題も生じる。

【 0 0 2 0 】

そこで、本発明では、射出される1波のレーザ光の波長を変更することができるとともに、この射出されるレーザ光の波長を安定化することができる波長可変安定化レーザを提供することを目的とする。

【 0 0 2 1 】

【課題を解決するための手段】

上述の目的は、複数の波長を発振可能なレーザを複数個備える光源と、光源から射出されたレーザ光が入射され、周期的な透過波長特性を持つ周期的フィルタと、周期的フィルタから射出されたレーザ光が入射され、入射されたレーザ光の光強度を検出する光検出手段と、複数個のレーザのうちからいずれか1個のレーザを発振させるとともに、光検出手段の出力が複数の波長ごとに設定される複数の目標値のうちからいずれか1個の目標値になるように発振させたレーザの発振波長を制御する制御手段とを備える波長可変安定化レーザによって達成される。

【0022】

このような波長可変安定化レーザでは、発振可能な波長ごとに複数の目標値を設定するので、複数の波長のなかから所望の波長のレーザ光を発振させることができ、しかもその波長に安定化することができる。

【0023】

【発明の実施の形態】

以下、図面に基づいて本発明の実施の形態について説明する。

【0024】

(第1の実施形態の構成)

図1は、第1の実施形態の波長可変安定化レーザの構成を示す図である。

図1において、波長可変安定化レーザは、光源11、周期的フィルタ12、光検出部13および制御部14で基本構成される。

光源11は、複数の波長を発振可能なレーザを複数個備える。光源11から射出されるレーザ光は、周期的な透過波長特性を持つ周期的フィルタ12に入射される。周期的フィルタ12から射出されたレーザ光は、光検出部13に入射される。光検出部13は、受光したレーザ光の光強度を検出し、その光強度に応じた電気信号に変換する。そして、光検出部13は、その電気信号を制御部14に出力する。制御部14は、光源11内の複数個のレーザのうちからいずれか1個のレーザを所望の波長で発振させる。さらに、制御部14は、光検出部13の出力が複数の波長ごとに設定される複数の目標値のうちからこの所望の波長に対応する目標値になるように発振させたレーザの発振波長を制御する。

【 0 0 2 5 】

(第 1 の実施形態の作用効果)

このような波長可変安定化レーザでは、発振可能な波長ごとに複数の目標値が予め用意される。そして、制御部 1 4 は、光検出部 1 3 の出力が発振させた波長に応じた目標値なるように、光源 1 1 内の発振させたレーザを制御する。このように波長ごとに目標値を設定しその目標値なるようにレーザが制御されるため、周期的フィルタ 1 2 の透過波長特性における温度依存性を補償することができる。

【 0 0 2 6 】

したがって、波長可変安定化レーザは、温度変動および波長の変更にかかわらず、波長を安定化した所望のレーザ光を射出することができる。

(第 1 の実施形態のより好ましい構成)

特に、光源 1 1 から射出されるレーザ光がほぼ一定の波長間隔である場合には、周期的フィルタ 1 2 の周期は、この一定の波長間隔に設定され、制御部 1 4 における複数の目標値は、周期的フィルタ 1 2 の透過波長特性における隣接する 2 極値間に設けられることが好ましい。

【 0 0 2 7 】

このような場合には、或る波長の目標値と他の波長の目標値とを一致させることができる。さらに、目標値が周期的フィルタ 1 2 の透過波長特性における隣接する 2 極値間に設けられることによって確実に発振波長を安定にすることができる。

なお、本明細書において、透過波長特性における隣接する極値間の特性曲線を「透過波長特性の肩」と呼称する場合がある。さらに、互いに隣接する極大値から極小値に至る特性曲線を「透過波長特性の右肩」と、互いに隣接する極小値から極大値に至る特性曲線を「透過波長特性の左肩」と呼称する場合もある。

【 0 0 2 8 】

また、光源 1 1 内のレーザが発振する複数の波長のうちの中央波長に対応する目標値は、透過波長特性における隣接する 2 極値間のほぼ中央に設けられることが好ましい。

例えば、光源 1 1 内に 6 個の半導体レーザが備えられ、個々の半導体レーザは、0.8 (nm) 間隔で 5 波のレーザ光を発振可能である場合において、3 番目の波長に対応する目標値を透過波長特性の肩のほぼ中央に設定される。

【0029】

このように中央波長に対応する目標値が透過波長特性の肩のほぼ中央に設けられるため、他の波長に対応する目標値も透過波長特性の肩に適正に配置されるから、波長可変安定化レーザは、各波長を同程度の精度で波長を安定化させてレーザ光を射出することができる。

なお、本明細書において、中央波長は、1 個のレーザが発振可能な波長帯域においてその中央を意味する。

【0030】

そして、制御部 1 4 は、光源 1 1 内に設けられた複数個のレーザの中から 1 個のレーザを発振させる際に、発振させるべき所望の波長とこの所望の波長に最も近い透過波長特性の極値を与える波長との間の波長範囲であって、この波長範囲のうちの透過波長特性における隣接する 2 極値間のほぼ中央の波長を含む方で発振させてから発振波長を制御することが好ましい。

【0031】

さらに、制御部 1 4 は、光源 1 1 内に設けられた複数個のレーザの中から 1 個のレーザを発振させる際に、発振させるべき所望の波長に最も近い波長であって透過波長特性における隣接する 2 極値間のほぼ中央の波長で発振させてから発振波長を制御することが好ましい。

上述のように中央波長に対応する目標値を透過波長特性の肩のほぼ中央に設けたとしても、中央波長から離れた波長の目標値は、極値に近い特性曲線上に配置される。つまり、中央波長に対応する目標値は、引込範囲の中央に配置されるが、中央波長から離れた波長の目標値は、引込範囲の中央から長波長側または短波長側に偏って配置されることになる。このため、例えば、引込範囲の中央から長波長側に目標値が配置された場合では、引込範囲において目標値から短波長側は広く、目標値から長波長側は狭くなる。よって、範囲が狭い目標値から長波長側でレーザを立ち上げてしまうと制御部 1 4 は、波長安定化の制御に困難が伴う。

【 0 0 3 2 】

そこで、レーザの立ち上げ波長を透過波長特性の肩のほぼ中央に対応する波長を含む波長範囲内で、あるいは、この透過波長特性の肩のほぼ中央に対応する波長で立ち上げるようにすることによって、制御部 1 4 は、確実に所望の波長に安定化することができる。

また、波長可変安定化レーザは、外部に取り出されるべきレーザ光を増幅する光増幅部（以下、「O-Amp」と略記する。）2 1 をさらに備えることが好ましい。

【 0 0 3 3 】

上述の波長可変安定化レーザは、光源 1 1、周期的フィルタ 1 2、光検出部 1 3 および制御部 1 4 によって波長制御のフィードバック制御系を構成している。このため、制御されたレーザ光を取り出す場合には、図 1 において波線で示すように光源 1 1 と周期的フィルタ 1 2 との間に、光を 2 つに分岐するカプラ 2 2 を設ければよい。

【 0 0 3 4 】

したがって、外部に取り出されるべきレーザ光を増幅する O-Amp 2 1 は、図 1 において波線で示すように、光源 1 1 とカプラ 2 2 との間に、あるいは、カプラ 2 2 のレーザ光を外部に射出するポートに接続すればよい。

このような O-Amp 2 1 を備えることによって、波長可変安定化レーザは、射出されるレーザ光の光強度の不足を補償することができる。

【 0 0 3 5 】

さらに、図 1 において波線で示すようにカプラ 2 2 と O-Amp 2 1-2 との間にアイソレータ（以下、「ISO」と略記する。）2 3 を設けることによって、波長可変安定化レーザは、光源 1 1 の半導体レーザで生じるキンク（kink）を防止することができる。キンクは、カプラ 2 2 や O-Amp 2 1 や周期的フィルタ 1 2 などの各光部品間における接続部・接合部で生じる反射光が半導体レーザに戻ることによって生じる現象である。キンクは、例えば、半導体レーザの光出力駆動電流特性上においてスパイク状のねじれとして観測される。

【 0 0 3 6 】

ここで、O-Amp 2 1 としては、半導体レーザ光増幅器や光ファイバ増幅器などを使用することができる。

また、O-Amp 2 1 は、飽和領域で使用されることが好ましい。

光源 1 1 内のレーザ光の波長を制御するためにレーザの駆動電流を制御した場合には、レーザ光の光強度に変動が生じる。そこで、このように飽和領域で使用するによって、波長可変安定化レーザは、O-Amp 2 1 から射出されるレーザ光の光強度をほぼ一定に保持することができるから、安定した光強度のレーザ光を射出することができる。

【 0 0 3 7 】

そして、制御部 1 4 は、光源 1 1 内に設けられた複数個のレーザのなかから 1 個のレーザの素子温度を制御することによって発振波長を制御することがこのましい。また、制御部 1 4 は、1 個のレーザの駆動電流を制御することによって発振波長を制御することが好ましい。さらに、制御部 1 4 は、1 個のレーザを発振させる際には素子温度で波長を制御し、発振波長を制御する際には駆動電流で制御することが好ましい。

【 0 0 3 8 】

光源 1 1 内に設けられたレーザが半導体レーザである場合には、発振波長をその素子温度および駆動電流によって変更することができる。特に、MQW半導体レーザでは、素子温度で発振波長を制御した方が高出力および高信頼性である。

発振可能な複数の波長のなかからいずれか 1 波長を発振させる際には、素子温度で波長を制御し、この発振した波長を安定させるために目標値となるように発振波長を微調整する際には、駆動電流で制御するようにすると、駆動電流による制御は制御の時定数が小さいので、素子温度だけで制御する場合に比べて迅速に所望の波長に安定化することができる。

【 0 0 3 9 】

また、周期的フィルタ 1 2 は、透過波長特性の周期 (FSR) および温度依存性が共通である複数個のフィルタであることが好ましい。この場合には、各フィルタから射出されるレーザ光を受光するために、光検出部 1 3 は、このフィルタの個数に対応する個数であることが最低限必要である。さらに、光源 1 1 から射

出されるレーザは、ほぼ一定の波長間隔であり、一定の波長間隔を複数の波長範囲に分け、分けられた波長範囲のそれぞれは、複数のフィルタのそれぞれの透過波長特性における隣接する２個の極値を与える波長範囲内にあることがより好ましい。

【 0 0 4 0 】

このように複数のフィルタを使用することによって、目標値ごとに適当なフィルタを割り振ることが可能であるから、それぞれの目標値を透過波長特性の肩のほぼ中央に配置するも可能である。このため波長可変安定化レーザは、より確実に安定した所望の波長のレーザ光を射出することができる。さらに、周期的フィルタは、所望の F S R に設計して製造したとしても、その前後の F S R を持つ周期的フィルタが製造されてしまうが、このような構成では、設計値を外れた F S R を持つ周期的フィルタを使用することができるから、周期的フィルタの製造歩留まりを向上することができる。

【 0 0 4 1 】

そして、周期的フィルタは、レーザにおける発振波長の温度依存性に応じた透過波長特性の温度依存性を持つフィルタであることが好ましい。

さらに、光源 1 1 は、複数の波長を発振可能なレーザであり、周期的フィルタ 1 2 は、レーザから射出されるレーザ光が入射され、レーザの発振波長の温度依存性に応じた透過波長特性の温度依存性を持つようにして、波長可変安定化レーザを構成することも可能である。

【 0 0 4 2 】

このような構成の波長可変安定化レーザは、透過波長特性の温度依存性をレーザの発振波長の温度依存性に応じて調整するので、制御部 1 4 の目標値を各 c h に対し共通にすることができ、より確実に安定した所望の波長のレーザ光を射出することができる。

例えば、透過波長特性の温度依存性は、レーザの発振波長の温度依存性に一致させる。すなわち、レーザが温度変動 ΔT で発振波長変動 ΔL である場合に、透過波長特性は、温度変動 ΔT でシフト量 ΔL とすればよい。このようにすることにより、ロック点は、透過波長特性の一方の肩上に配置されることになる。

【 0 0 4 3 】

また、同一の目標値になる透過率は、透過波長特性の右肩および左肩にある。この性質を利用するようにしてもよい。この場合は、レーザが発振可能な波長数も考慮する。

さらに、波長可変安定化レーザは、周期的フィルタを除き従来と同様な構成にすることができる。このため、周期的フィルタの交換と制御部 1 4 の微調整によって従来のマルチ波長安定化装置およびWDM方式用光源装置などが利用可能である。

【 0 0 4 4 】

次に、別の実施形態について説明する。

(第 2 の実施形態の構成)

第 2 の実施形態は、8 波のWDM方式光信号の光源装置に好適な波長可変安定化レーザの実施形態である。WDM方式光信号は、1 5 5 0 (nm) 波長帯域においてITU-Tの勧告に従い 0. 8 (nm) 波長間隔で c h 0 ~ c h 7 の波長が配置される。

【 0 0 4 5 】

図 2 は、第 2 の実施形態の波長可変安定化レーザの構成を示す図である。

図 2 において、レーザダイオード（以下、「LD」と略記する。）1 0 1 -1 は、c h 0 ~ c h 3 にそれぞれ対応する 4 波のレーザ光を発振することができる。そして、LD 1 0 1 -1 は、その素子温度および駆動電流値に従って、これら 4 波のレーザ光のうちからいずれか 1 波のレーザ光を発振する。LD 1 0 1 -1 から射出されたレーザ光は、カプラ 1 0 2 に入射される。

【 0 0 4 6 】

同様に、LD 1 0 1 -2 は、c h 4 ~ c h 7 にそれぞれ対応する 4 波のレーザ光を発振することができ、発振したレーザ光は、カプラ 1 0 2 に入射される。

ここで、LD 1 0 1 -1 が c h 0 のレーザ光を発振する素子温度において、LD 1 0 1 -2 は、c h 4 のレーザ光を発振する。LD 1 0 1 -1 が c h 1 のレーザ光を発振する素子温度において、LD 1 0 1 -2 は、c h 5 のレーザ光を発振する。LD 1 0 1 -1 が c h 2 のレーザ光を発振する素子温度において、LD 1 0 1 -2 は、

c h 6 のレーザ光を発振する。そして、L D 1 0 1 -1 が c h 3 のレーザ光を発振する素子温度において、L D 1 0 1 -2 は、c h 7 のレーザ光を発振する。

【0 0 4 7】

本実施形態では、L D 1 0 1 -1 および L D 1 0 1 -2 は、次のように設計される。すなわち、素子温度が 1 6 (°C) の場合に、L D 1 0 1 -1 が c h 0 のレーザ光を発振するように、L D 1 0 1 -2 が c h 4 のレーザ光を発振するように設計される。素子温度が 2 4 (°C) の場合に、L D 1 0 1 -1 が c h 1 のレーザ光を発振するように、L D 1 0 1 -2 が c h 5 のレーザ光を発振するように設計される。素子温度が 3 2 (°C) の場合に、L D 1 0 1 -1 が c h 2 のレーザ光を発振するように、L D 1 0 1 -2 が c h 6 レーザ光を発振するように設計される。そして、素子温度が 4 0 (°C) の場合に、L D 1 0 1 -1 が c h 3 のレーザ光を発振するように、L D 1 0 1 -2 が c h 7 のレーザ光を発振するように設計される。

【0 0 4 8】

なお、本実施形態における各 L D 1 0 1 の発振波長と各 c h との関係を図 3 に示す。

L D 1 0 1 は、MQW 構造 D F B レーザや可変波長 D B R レーザなどの可変波長レーザを使用することができる。特に、多重量子井戸レーザは、通常の分布帰還型レーザや分布ブラッグ反射型レーザなどに較べて、光学利得が大きく低閾値である、光学利得スペクトル幅が狭く発光スペクトル幅が狭くなる、高速変調が可能、および、T E 波が優先的に選択されるなどの点で高性能である。

【0 0 4 9】

これら L D 1 0 1 および カ プ ラ 1 0 2 は、L D アレイ部を構成する。L D アレイ部は、後述する制御によって 8 波のうちの 1 波のレーザ光をカ プ ラ 1 0 3 に射出する。

カ プ ラ 1 0 3 に入射されたレーザ光は、3 つに分配され、分配された第 1 レーザ光は、I S O 1 2 1 および半導体光増幅器（以下、「S O A」と略記する。）1 2 2 を介してカ プ ラ 1 2 3 に入射される。分配された第 2 レーザ光は、E T フィルタ 1 0 4 を介して P D 1 0 5 -1 に入射される。そして、分配された第 3 レーザ光は、P D 1 0 5 -2 に入射される。ここで、第 1 レーザ光は、最終的に波長可

変安定化レーザの出力となるので、その光強度を第2および第3レーザ光の光強度より大きくすることが好ましい。

【0050】

PD105-1は、入射されたレーザ光の光強度に従う電流を発生させ、電気信号をアナログ／デジタル変換器（以下、「A／D」と略記する。）116-1に出力する。A／D116-1は、このアナログ信号をデジタル信号に変換し、デジタル信号を制御用の中央処理装置（以下、「CPU」と略記する。）108に出力する。このA／D116-1の出力、すなわち、ETフィルタ104を介したレーザ光の光強度に対応する値をPD_{o1}とする。

【0051】

PD105-2は、同様に、入射されたレーザ光の光強度に従う電流を発生させ、その電気信号は、A／D116-2を介してCPU108に出力される。このA／D116-2の出力、すなわち、カプラ103から直接入射されたレーザ光の光強度に対応する値をPD_{o2}とする。

PD_{o1}／PD_{o2}は、ETフィルタ104の透過率に相当する値である。ETフィルタ104の透過率は、PD_{o1}だけでも求めることができるが、PD_{o1}をPD_{o2}で規格化することによって、雑音や経時劣化などによるPD_{o1}の変動を補償することができる。そして、CPU108は、PD_{o1}／PD_{o2}を計算するので、カプラ103からETフィルタ104に入射されるレーザ光とカプラ103からPD105-2に入射されるレーザ光とは、同一の光強度であることが好ましい。

【0052】

図4は、第2の実施形態における透過波長特性と各chのロック点との関係を示す図である。

図4の縦軸は、PD_{o1}／PD_{o2}、すなわち、ETフィルタの透過率に相当する値であり、横軸は、ch（波長）である。各曲線は、各温度における透過波長特性を示し、その各温度は、上段から16（℃）、24（℃）、32（℃）、40（℃）の場合である。そして、各曲線上の黒丸（●）は、各chのロック点、すなわち、所望の発振波長に制御するための目標値である。

【0053】

ETフィルタ104は、周期的フィルタであり、そのFSRは、WDM方式光信号の波長間隔に設定される。本実施形態においては、波長間隔が0.8 (nm) であるので、FSRは、0.8 (nm) に設定される。なお、0.8 (nm) は、1550 (nm) 波長帯域において100 (GHz) である。また、ETフィルタ104の素材は、本実施形態では、石英ガラスである。このため、ETフィルタ104の透過波長特性は、素子温度を16 (°C) から40 (°C) までの変化に対して、長波長側に約0.22 (nm) シフトする。

【0054】

このようにETフィルタのFSRをLDアレイ部から射出可能なレーザ光の波長間隔に設定すると、図4に示すように、同一の素子温度においてLD101-1およびLD101-2が発振可能なレーザ光に対応する目標値を同一にすることができる。ここで、ch0とch4とに対する目標値を第1目標値とする。ch1とch5とに対応する目標値を第2目標値とする。ch2とch6とに対する目標値を第3目標値とする。ch3とch7とに対応する目標値を第4目標値とする。

【0055】

そして、ETフィルタの或る極値は、図4に示すように、第1ないし第4目標値が透過波長特性の左肩に配置されるように設計される。さらに、ETフィルタの半値幅は、透過波長特性のシフト量を考慮した上で、第1ないし第4目標値が透過波長特性の左肩に配置されるように設計される。各目標値は、ETフィルタ104の透過波長特性が素子温度の上昇に従って長波長側にシフトするので、第1目標値、第2目標値、第3目標値、第4目標値は、透過率の大きい方からこの順に従って配置される。

【0056】

仮に、各目標値を1つの透過波長特性の左肩に配置すると、各目標値は、図5に示すように配置される。図5において、目標値を与える波長の各波長間隔は、透過波長特性の温度依存性に相当する長さである。本実施形態では、或るchを隣接するchに変更するために約8 (°C) 素子温度を変更するので、透過波長特性は、約8 (°C) の素子温度の上昇に従い長波長側に約0.075 (nm) シフ

トする。このため、この目標値を与える波長の各波長間隔は、約 0. 0 7 5 (nm) である。

【0 0 5 7】

また、各目標値を配置することができる透過波長特性の肩の範囲は、次の事項によって設計可能である。すなわち、目標値を極大値の近くに配置すると、わずかな発振波長の変化に対し PD_{o1}/PD_{o2} が大きく変動してしまう。一方、目標値を極小値の近くに配置すると、 PD_{o1}/PD_{o2} の信号対雑音比が劣化してしまう。このため、いずれの場合においても、LD 1 0 1 の発振波長を安定化することが容易ではない。

【0 0 5 8】

本実施形態では、前述のように透過波長特性が長波長側に 0. 2 2 (nm) シフトし、FSR が 0. 8 (nm) であることから、半値幅は、0. 3 8 (nm) に設計した。この場合において、各目標値の配置可能な透過波長特性の肩の範囲は、約 0. 2 5 (nm) である。

ここで、LD 1 0 1-1 が発振する波長のうちの中央波長に対応する目標値は、透過波長特性の肩のほぼ中央に配置されることが好ましい。本実施形態では、LD 1 0 1-1 は、 $ch_0 \sim ch_3$ の 4 波のレーザ光を発振するので、真正の中央波長がない。そこで、 ch_1 と ch_2 との中央の波長を想定し、この波長に対応する目標値を透過波長特性の肩のほぼ中央に配置すると、第 1 ないし第 4 目標値は、透過波長特性の極値付近を避けて肩に適正に配置されるから、波長可変安定化レーザは、各波長を高精度に波長を安定化させてレーザ光を射出することができる。

【0 0 5 9】

このように LD が発振する波長数が偶数のため仮想の目標値を考慮する場合も、LD が発振する複数の波長のうちの中央波長に対応する目標値が透過波長特性における隣接する 2 極値間のほぼ中央に設けられることの意味に含まれる。

ET フィルタ 1 0 4 の FSR の設計について、より一般的に説明する。

LD アレイ部の発振波長における温度依存性を R (GHz/°C)、発振波長間隔を Δf (GHz) とすると、或る波長から隣接する他の波長に発振波長を変更

するために必要な温度変更は、 $\Delta f / R$ (°C) となる。周期的フィルタの透過波長特性の温度依存性を Q (GHz/°C) とすると、LDアレイ部が1波長間隔分発振波長を変更させる間に、周期的フィルタの透過波長特性は、 $Q \times \Delta f / R$ (GHz) だけシフトする。このため、FSRを波長間隔から $Q \times \Delta f / R$ (GHz) だけ引いた値に設計すれば、1波長間隔分発振波長を変更したとしても、隣と同じ肩形状の同じ透過率にロック点を設定することができる。したがって、FSR (GHz) は、 $\Delta f - (Q \times \Delta f / R)$ ないし Δf の範囲で設計する。

【0060】

また、FSRを発振可能な波長間隔の半分に設計すると、引込範囲が半分になる一方透過波長特性の肩の傾きが急になるので、より確実にロック点に発振波長を合わせることができる。この場合は、FSR (GHz) は、 $\Delta f / 2 - (Q \times \Delta f / 2 R)$ ないし $\Delta f / 2$ の範囲で設計する。

図2に戻って、温度調整器106および温度検出器107は、ベース基板110に接触するように接続される。

【0061】

ベース基板110は、LD101とETフィルタ104と同一温度になるようにするため、その上にLD101、カプラ102、103、ETフィルタ104およびPD105が配置される。したがって、カプラ102、103およびPD105は、ベース基板110上に配置しない構成でもよい。

温度調整器106は、ベース基板110の温度を変更する素子である。温度調整器106として、例えば、ペルチェ効果 (Peltier effect) によって温度を変更することができるペルチェ素子などを使用することができる。温度調整器106の温度制御は、CPU108がデジタル/アナログ変換器 (以下、「D/A」と略記する。) 113を介して温度調整器駆動回路112の電流値を変えることによって制御される。温度調整器駆動回路112は、制御された電流を温度調整器106に供給する。

【0062】

温度検出器107は、ベース基板110の温度を検出する。温度検出器107として、例えば、サーミスタ (thermistor) や熱電対などを使用することができ

る。温度検出器 1 0 7 の出力は、A / D 1 1 5 を介して CPU 1 0 8 に入力される。

【 0 0 6 3 】

また、LD 駆動回路 1 1 1 は、D / A 1 1 4 を介して CPU 1 0 8 によって駆動電流値を制御される。そして、LD 駆動回路 1 1 1 は、この制御に基づく駆動電流を LD 1 0 1 -1、1 0 1 -2 に供給する。LD 1 0 1 -1、1 0 1 -2 は、この駆動電流によってレーザ発振する。

一方、SOA 駆動回路 1 2 4 は、D / A 1 2 6 を介して CPU 1 0 8 によって SOA 1 2 2 を駆動する駆動電流値を制御される。そして、SOA 駆動回路 1 2 4 は、この制御に基づく駆動電流を SOA 1 2 2 に供給する。SOA 1 2 2 は、この駆動電流に従う利得でレーザ光を増幅する。

【 0 0 6 4 】

SOA 1 2 2 からカプラ 1 2 3 に入射された第 1 レーザ光は、カプラ 1 2 3 で 2 つに分配され、一方は、波長可変安定化レーザの出力光として射出され、他方は、PD 1 2 5 に入射される。PD 1 2 5 は、この入射されたレーザ光に従う電流を発生し、PD 1 2 5 の出力は、A / D 1 2 7 を介して CPU 1 0 8 に入力される。CPU 1 2 7 は、この PD 1 2 5 の出力に基づいて波長可変安定化レーザから射出されるレーザ光の光強度を判別し、所望の光強度になるように、D / A 1 2 6 および SOA 駆動回路 1 2 4 を介して SOA 1 2 2 の利得を制御する。

【 0 0 6 5 】

また、CPU 1 0 8 は、メモリ 1 0 9 にアクセスする。メモリ 1 0 9 は、後述する波長可変安定化レーザを制御するための第 1 プログラム、各 LD 1 0 1 の初期立ち上げ駆動電流値、SOA の初期立ち上げ駆動電流値、温度ごとに温度調整器 1 0 6 の初期立ち上げ制御値、第 1 ないし第 4 目標値、波長可変安定化レーザから射出されるレーザ光の光強度の目標値などが記憶される。

【 0 0 6 6 】

ここで、LD 1 0 1 の初期立ち上げ駆動電流値は、c h ごとに設定される。そして、LD 1 0 1 の初期立ち上げ駆動電流値は、各 c h に対応するロック点が図 4 に示すように透過波長特性の 1 つの肩に 1 個しか存在しないので、当該ロック

点を含む透過波長特性の肩の範囲に対応する波長範囲内でLD101が発振するように設定される。例えば、ch5に対応するLD101-2の初期立ち上げ駆動電流は、図4に示すch5の引込範囲内で立ち上がる値である。

【0067】

さらに、極値付近では、前述と同様な理由によってロック点に波長を制御することが容易ではないので、極値付近に対応する波長を除外することが好ましい。

(第2の実施形態の作用効果)

次に、波長可変安定化レーザが発振波長を所望の波長に安定化させる制御について説明する。

【0068】

図6は、第2の実施形態のフローチャートである。

CPU108は、例えば、電源投入によってメモリ109に記憶されている第1プログラムの実行を開始する。

図6において、CPU108は、波長可変安定化レーザ内の各回路を初期化する(S1)。

【0069】

CPU108は、波長可変安定化レーザに対するchの立ち上げ要求があったか否かを判断する(S2)。要求がない場合には、要求があるまで、S2の処理を繰り返す。

chの立ち上げ要求(発振波長の設定)は、例えば、この波長可変安定化レーザがWDM方式光通信システムにおける送信局の光源装置として使用される場合には、送信局を統括する制御装置によってCPU108に入力される。

【0070】

要求があった場合には、CPU108は、メモリ109にアクセスし、chXに対応するLD101、LD101の初期立ち上げ駆動電流値、SOA122の初期立ち上げ駆動電流値、chXに対応する温度にするための温度調整器106の初期立ち上げ制御値、chXに対応する目標値、波長可変安定化レーザから射出されるレーザ光の光強度の目標値を読み込む(S3)。

【0071】

例えば、c h 2 を立ち上げる要求があった場合には、CPU 1 0 8 は、LD 1 0 1 -1、LD 1 0 1 -1 の初期立ち上げ駆動電流値、SOA 1 2 2 の初期立ち上げ駆動電流値、3 2 (°C) にするための温度調整器 1 0 6 の初期立ち上げ制御値、第 3 目標値、波長可変安定化レーザから射出されるレーザ光の光強度の目標値を読み込む。

【0 0 7 2】

CPU 1 0 8 は、読み込んだ温度調整器 1 0 6 の初期立ち上げ制御値を D/A 1 1 3 を介して温度調整器駆動回路 1 1 2 に出力して、温度調整器 1 0 6 を作動させる (S 4)。

CPU 1 0 8 は、c h X に対応する LD 1 0 1 に LD 1 0 1 の初期立ち上げ駆動電流を D/A 1 1 4 および LD 駆動回路 1 1 1 を介して供給する (S 5)。

【0 0 7 3】

この駆動電流によって LD 1 0 1 は、レーザ光の発振を開始する。

CPU 1 0 8 は、A/D 1 1 5 を介して入力される温度検出器 1 0 7 の出力を監視し (S 6)、一定の許容値以内で c h X に対応する温度であるか否かを判断する (S 7)。

判断の結果、c h X に対応する温度ではない場合は、S 6 および S 7 の処理を繰り返す。一方、c h X に対応する温度である場合は、CPU 1 0 8 は、PD o1 および PD o2 を取り込み、PD o1/PD o2 を算出する (S 8)。

【0 0 7 4】

CPU 1 0 8 は、c h X に対応する目標値から PD o1/PD o2 を引くことによって PD o1/PD o2 とこの目標値との差を算出し、この差が一定の許容値以内であるか否かを判断する (S 9)。PD o1/PD o2 とこの目標値との差を算出することは、LD 1 0 1 の現在の発振波長と c h X に対応する波長との差を算出することに相当する。

【0 0 7 5】

判断の結果、算出した差が許容値以内でない場合には、温度調整器 1 0 6 によって LD 1 0 1 の素子温度を変えることによって発振波長を変更し (S 1 0)、S 8 の処理に戻る。

このLD101の素子温度の変更方向は、次のようにして決定される。すなわち、ロック点が透過波長特性の左肩に配置されているので、算出した差が「正」であることは、発振波長がロック点より短波長側であることを示すため、CPU108は、発振波長が長くなるように素子温度を変更する。逆に、算出した差が「負」であることは、発振波長がロック点より長波長側であることを示すので、CPU108は、発振波長が短くなるように素子温度を変更する。

【0076】

一方、判断の結果、許容値以内である場合には、CPU108は、発振波長がchXに対応する波長に安定化（ロック）されたと判断する。そして、CPU108は、読み込んだSOA122の初期立ち上げ駆動電流値をD/A126を介してSOA駆動回路124に出力して、SOA122を作動させる（S11）。

CPU108は、A/D127を介して入力されるPD125の出力を監視し、一定の許容値以内で読み込んだレーザ光の光強度の目標値であるか否かを判断することによって光強度を一定に制御する（APC制御）（S12）。

【0077】

このようにして波長可変安定化レーザは、所望のchXにレーザ光の波長を安定化させる。

そして、chXから別のchYへ切り替える場合には、CPU108は、再度上述のS3からS12までの処理を行う。

波長可変安定化レーザは、ETフィルタのFSRを発振可能な波長間隔に設定することによって、LD101-1とLD101-2とが同一の素子温度で発振することができるレーザ光の波長を安定化することができる。そして、波長可変安定化レーザは、透過波長特性の肩に配置される目標値を1個のLD101が発振することができる波長ごとに設定することによって、1個のLD101が異なる素子温度で発振することができるレーザ光の波長を安定化することができる。

【0078】

このため、波長可変安定化レーザは、発振可能なすべての波長のレーザ光に対し波長を安定にして射出することができる。

なお、第2の実施形態において、CPU108は、出力されるレーザ光の光強

度を一定に制御したが、これに限定されない。例えば、CPU 108は、PD 105-2の出力を利用することによってSOA 122を利得一定に制御してもよい。

【0079】

次に、別の実施形態について説明する。

(第3の実施形態の構成)

第2の実施形態では、所望のchに対応する波長のレーザ光を発振させる際に、LDを立ち上げる波長は、その所望のchに対応する引込範囲内に設定される。この場合においても、波長可変安定化レーザは、所望のchの波長に安定化されたレーザ光を射出することができるが、透過波長特性の極値付近にロック点を設定された波長に安定化させることは、容易ではない。これは、ロック点が引込範囲の中央から長波長側または短波長側に偏って配置されているからである。

【0080】

そこで、第3の実施形態の波長可変安定化レーザは、各chの初期立ち上げ波長を発振させるべきchに対応する波長に最も近い波長であって透過波長特性の肩のほぼ中央の波長で発振させてから、所望の発振させるべきchに対応する波長に発振波長を制御する。

したがって、第3の実施形態の波長可変安定化レーザの構成は、メモリ109を除き、第2の実施形態の波長可変安定化レーザの構成と同一なので、その説明を省略する。

【0081】

第3の実施形態においては、図2におけるメモリ109の代わりにメモリ159を使用する。メモリ159は、後述する波長可変安定化レーザを制御するための第2プログラム、各LD101の初期立ち上げ駆動電流値、SOAの初期立ち上げ駆動電流値、温度ごとに温度調整器106の初期立ち上げ制御値、第1ないし第4目標値、波長可変安定化レーザから射出されるレーザ光の光強度の目標値などが記憶される。

【0082】

ここで、LD101の初期立ち上げ駆動電流値は、chごとに設定される。

図 7 は、第 3 の実施形態における各 $c h$ のロック点と初期立ち上げ波長との関係を示す図である。

【0083】

図 7 の縦軸は、 $P D o 1 / P D o 2$ であり、横軸は、 $c h$ (波長) である。各曲線は、各温度における透過波長特性を示し、その特性曲線は、上段から 16 (°C)、24 (°C)、32 (°C)、40 (°C) の場合である。そして、各特性曲線上の黒丸 (●) は、各 $c h$ のロック点、すなわち、所望の発振波長に制御するための目標値である。また、各特性曲線上の黒四角 (■) は、各 $c h$ の初期立ち上げ波長、すなわち、LD 101 の初期立ち上げ駆動電流によって LD 101 が発振を開始する波長である。このように LD 101 の初期立ち上げ駆動電流値は、発振させるべき $c h$ に対応する波長に最も近い波長であって透過波長特性の肩のほぼ中央の波長で LD 101 を発振させる値である。

【0084】

この値をより一般的に説明する。

LD 駆動電流の波長依存性を S (nm/mA)、周期的フィルタの引込可能範囲幅をロック点を中心に $\pm W$ (nm) だとすると、両端の $c h$ は、 $\pm W / S$ (mA) だけ電流値をずらして LD を立ち上げることで、LD を透過波長特性の肩のほぼ中央から発振させることができる。

【0085】

(第 3 の実施形態の作用効果)

次に、波長可変安定化レーザが発振波長を所望の波長に安定化させる制御について説明する。

図 8 は、第 3 の実施形態のフローチャートである。

CPU 108 は、例えば、電源投入によってメモリ 159 に記憶されている第 2 プログラムの実行を開始する。

【0086】

図 8 において、波長可変安定化レーザ内の各回路を初期化する S1 から温度検出器 107 の出力が定常状態になる S7 まで、CPU 108 は、図 6 に示す第 2 の実施形態における CPU 108 の制御と同一であるので、その説明を省略する

【 0 0 8 7 】

ここで、第 3 の実施形態において、 $c h X$ に対応する $L D 1 0 1$ の初期立ち上げ駆動電流値が第 2 の実施形態とは異なるので、 $L D 1 0 1$ は、第 2 の実施形態とは異なる発振波長でレーザ光の発振を開始する。

図 8 の $S 7$ において、判断の結果、 $c h X$ に対応する温度である場合は、 $C P U 1 0 8$ は、 $P D o 1$ および $P D o 2$ を取り込み、 $P D o 1 / P D o 2$ を算出する ($S 2 1$)。

【 0 0 8 8 】

$C P U 1 0 8$ は、 $c h X$ に対応する目標値から $P D o 1 / P D o 2$ を引くことによって $P D o 1 / P D o 2$ とこの目標値との差を算出し、この差が一定の許容値以内であるか否かを判断する ($S 2 2$)。 $P D o 1 / P D o 2$ とこの目標値との差を算出することは、 $L D 1 0 1$ の現在の発振波長と $c h X$ に対応する波長との差を算出することに相当する。

【 0 0 8 9 】

判断の結果、算出した差が許容値以内でない場合には、 $L D$ 駆動回路 $1 1 1$ によって $L D 1 0 1$ の駆動電流を変えることによって発振波長を変更し ($S 2 3$)、算出した差が許容値以内である場合には、後述する $S 2 7$ を処理する。

この $L D 1 0 1$ の駆動電流の変更方向は、次のようにして決定される。

すなわち、ロック点が透過波長特性の左肩のほぼ中央より極大値側に配置されている場合では、立ち上げ波長は、常に短波長側であるので、 $C P U 1 0 8$ は、発振波長が長くなるように駆動電流を変更する。本実施形態においては、図 7 に示すように、 $c h 0$ 、 $c 1$ 、 $c h 4$ および $c h 5$ の場合である。

【 0 0 9 0 】

逆に、ロック点が透過波長特性の左肩のほぼ中央より極小値側に配置されている場合では、立ち上げ波長は、常に長波長側であるので、 $C P U 1 0 8$ は、発振波長が短くなるように駆動電流を変更する。本実施形態においては、図 7 に示すように、 $c h 2$ 、 $c 3$ 、 $c h 6$ および $c h 7$ の場合である。

そして、再度、 $C P U 1 0 8$ は、 $P D o 1$ および $P D o 2$ を取り込み、 $P D o 1 / P$

D_o2を算出する（S 2 4）。

【0 0 9 1】

CPU 1 0 8は、c h Xに対応する目標値からP D_o1/P D_o2を引くことによってP D_o1/P D_o2とこの目標値との差を算出し、この差が一定の許容値以内であるか否かを判断する（S 2 5）。

判断の結果、算出した差が許容値以内でない場合には、LD駆動回路 1 1 1によってLD 1 0 1の駆動電流を変えることによって発振波長を変更し（S 2 6）、S 2 4の処理に戻る。

【0 0 9 2】

このLD 1 0 1の駆動電流の変更方向は、次のようにして決定される。

ロック点が透過波長特性の左肩に配置されているので、算出した差が「正」であることは、発振波長がロック点より短波長側であることを示すので、CPU 1 0 8は、発振波長が長くなるように駆動電流を変更する。逆に、算出した差が「負」であることは、発振波長がロック点より長波長側であることを示すので、CPU 1 0 8は、発振波長が短くなるように駆動電流を変更する。

【0 0 9 3】

一方、判断の結果、許容値以内である場合には、CPU 1 0 8は、発振波長がc h Xに対応する波長に安定化（ロック）されたと判断する。そして、CPU 1 0 8は、読み込んだSOA 1 2 2の初期立ち上げ駆動電流値をD/A 1 2 6を介してSOA駆動回路 1 2 4に出力して、SOA 1 2 2を作動させる（S 2 7）。

CPU 1 0 8は、A/D 1 2 7を介して入力されるPD 1 2 5の出力を監視し、一定の許容値以内で読み込んだレーザ光の光強度の目標値であるか否かを判断することによって光強度を一定に制御する（APC制御）（S 2 8）。

【0 0 9 4】

このようにして波長可変安定化レーザは、所望のc h Xにレーザ光の波長を安定化させる。

そして、c h Xから別のc h Yへ切り替える場合には、CPU 1 0 8は、再度上述のS 3からS 7までおよびS 2 1からS 2 8までの処理を行う。

第3の実施形態の波長可変安定化レーザは、第2の実施形態の作用効果に加え

、LD101の初期立ち上げ波長を透過波長特性の肩のほぼ中央に設定するので、最初の発振波長の変更方向が特定されるため、誤った方向に発振波長が変更されることがない。このため、波長可変安定化レーザは、より確実に所望のc h Xに対応する波長にレーザ光を安定させて発振することができる。さらに、波長可変安定化レーザは、所望のc h Xに対応する波長に対し、ETフィルタのFSRだけずれた波長のレーザ光を発振することがない。

【0095】

また、LD101から射出されるレーザ光は、発振波長を調整するために駆動電流が変動するため、光強度の変動が生じるが、SOA122が備えられているため、この変動分を補償することができる。

一般に、光増幅器は、飽和領域において入力光強度の変動に対し、その出力光強度は、あまり変動しない。

【0096】

そこで、SOA122は、飽和領域で使用されることが好ましい。この場合には、SOA122の初期立ち上げ駆動電流値の代わりに、または、これに加えて、SOA122を飽和領域にする飽和駆動電流値がメモリ159に記憶される。両駆動電流値が記憶される場合には、CPU108は、SOA122を始めに初期立ち上げ駆動電流値で立ち上げてから飽和駆動電流値に切り替える。

【0097】

このようにSOA122を飽和領域で使用すると、LD駆動電流の変動によってSOA122の入力光強度に変動が生じても、PD125の出力変動は、小さい。このため、波長可変安定化レーザは、射出されるレーザ光の光強度を容易に制御することができる。

特に、光源の光強度の変動に対し大きな許容値を持つ送信局の場合には、S28の処理を省略することが可能である。

【0098】

なお、第2および第3の実施形態において、SOA122は、カプラ103とカプラ123との間に備えられたが、SOA122をカプラ102とカプラ103との間に備えて構成してもよい。このような構成では、LD101、カプラ1

02およびSOA122を一体化させて同一半導体基板上に製造することが可能である。さらに、同一半導体基板上に製造することができることから、光増幅器を含めた波長可変安定化レーザを小型に製造することが可能である。ここで、この場合は、SOA122は、図6および図8のS4においてSOA122の初期立ち上げ駆動電流値で駆動するように制御する。一般に、光増幅器は、駆動されていない状態では光吸収体となるので、PD105が検出可能な光強度のレーザ光がカプラ103に入射されない可能性があるからである。

【0099】

次に、別の実施形態について説明する。

（第4の実施形態の構成）

第4の実施形態は、8波のWDM方式光信号の光源に好適な波長可変安定化レーザの実施形態である。WDM方式光信号は、1550（nm）波長帯域においてITU-Tの勧告に従い0.8（nm）波長間隔でch0～ch7の波長が配置される。

【0100】

図9は、第4の実施形態の波長可変安定化レーザの構成を示す図である。

なお、第4の実施形態の説明において、図2と同一の構成については、同一の参照符号を付し、その説明を省略する。

図9において、LD101-1およびLD101-2は、カプラ102にレーザ光を射出する。これらLD101およびカプラ102は、LDアレイ部を構成する。LDアレイ部は、後述する制御によって8波のうちの1波のレーザ光をカプラ151に射出する。

【0101】

カプラ151に入射されたレーザ光は、3つに分配され、分配された第1レーザ光は、ISO121、SOA122を介してカプラ123に入射される。

分配された第2レーザ光は、カプラ152-1に入射される。入射された第2レーザ光は、さらに2つに分配され、一方は、ETフィルタ153-1を介してPD154-1に入射され、他方は、ETフィルタ153-2を介してPD154-2に入射される。

【 0 1 0 2 】

分配された第3レーザ光は、カプラ152-2に入射される。入射された第3レーザ光は、さらに2つに分配され、一方は、ETフィルタ153-3を介してPD154-3に入射され、他方は、PD154-4に入射される。

PD154-1は、入射されたレーザ光の光強度に従う電流を発生させ、電気信号をA/D155-1に出力する。A/D155-1は、このアナログ信号をデジタル信号に変換し、デジタル信号を制御用のCPU108に出力する。このA/D155-1の出力、すなわち、ETフィルタ154-1を介したレーザ光の光強度に対応する値をPD ϕ 1とする。

【 0 1 0 3 】

PD154-2は、同様に、入射されたレーザ光の光強度に従う電流を発生させ、その電気信号は、A/D155-2を介してCPU108に出力される。このA/D155-2の出力、すなわち、ETフィルタ154-2を介したレーザ光の光強度に対応する値をPD ϕ 2とする。

さらに、PD154-3は、同様に、入射されたレーザ光の光強度に従う電流を発生させ、その電気信号は、A/D155-3を介してCPU108に出力される。このA/D155-3の出力、すなわち、ETフィルタ154-3を介したレーザ光の光強度に対応する値をPD ϕ 3とする。

【 0 1 0 4 】

そして、PD154-4は、同様に、入射されたレーザ光の光強度に従う電流を発生させ、その電気信号は、A/D155-4を介してCPU108に出力される。このA/D155-4の出力、すなわち、カプラ103から直接入射されたレーザ光の光強度に対応する値をPD ϕ 4とする。

PD ϕ 1/PD ϕ 4は、ETフィルタ153-1の透過率に相当する値である。同様に、PD ϕ 2/PD ϕ 4は、ETフィルタ153-2の透過率に相当する値であり、PD ϕ 3/PD ϕ 4は、ETフィルタ153-3の透過率に相当する値である。

【 0 1 0 5 】

図10は、第4の実施形態における各ETフィルタの透過波長特性と各chのロック点との関係を示す図である。

図 1 0 の縦軸は、各 E T フィルタ 1 5 3 の透過率に相当し、横軸は、 $c h$ （波長）である。各曲線は、各温度における各 E T フィルタ 1 5 3 の透過波長特性を示し、その各温度は、上段から 1 6（℃）、2 4（℃）、3 2（℃）、4 0（℃）の場合である。そして、各曲線上の黒丸（●）は、各 $c h$ のロック点、すなわち、所望の発振波長に制御するための目標値である。

【0 1 0 6】

E T フィルタ 1 5 3 は、透過波長特性の温度依存性が同じ周期的フィルタである。E T フィルタ 1 5 3 の枚数は、波長間隔を複数の領域に分け、この分けられた 1 個の領域内において透過波長特性の肩が存在するように枚数を決定する。このように E T フィルタを備えることにより、各 $c h$ に対応するそれぞれのロック点は、いずれかの E T フィルタの肩に配置することができる。このため、 $c h$ ごとに各目標値を設定することにより、波長可変安定化レーザは、その目標値に基づいて各 $c h$ に対応する波長でレーザ光を安定に発振させることができる。

【0 1 0 7】

本実施形態の場合には、波長間隔 1 0 0（GHz）を 5 個の領域に分ける。そして、FSR が約 9 0（GHz）の E T フィルタを使用し、図 1 0 に示すように同一の温度において透過波長特性が 2 0（GHz）ずれるように各 E T フィルタを設計する。このように設計すると、分けられた第 1 領域と第 3 領域は、E T フィルタ 1 5 3-1 の各肩を割り当てることができ、分けられた第 2 領域と第 4 領域は、E T フィルタ 1 5 3-2 の各肩を割り当てることができ、さらに、分けられた第 3 領域と第 5 領域は、E T フィルタ 1 5 3-3 の各肩を割り当てることができる。このため、E T フィルタは、3 枚でよい。

【0 1 0 8】

なお、本実施形態では、E T フィルタ 1 5 3 として FSR が約 9 0（GHz）の 3 枚のフィルタを使用したか、これに限定されるものではない。例えば、E T フィルタ 1 5 3 として FSR が 1 1 0（GHz）の 2 枚のフィルタを使用しても良い。この場合には、波長間隔 1 0 0（GHz）を 4 個の領域に分け、2 枚の E T フィルタは、その透過波長特性が 2 5（GHz）ずれるように設計すればよい。また、PD 1 5 4 は、E T フィルタの枚数に応じて 2 個、あるいは、3 個でよ

い。

【0109】

一般的には、ETフィルタの枚数は、次のように考えることができる。

ETフィルタの一方の肩で波長をロックすることが可能な領域を D (GHz)とした場合、ETフィルタの1周期分(1FSR分)の範囲において波長をロックすることができる領域は、両方の肩を利用した場合では、 $2D$ (GHz)である。

【0110】

ここで、発振波長間隔(周波数間隔)を Δf (GHz)とした場合、 Δf の領域内に上述のETフィルタが $\Delta f / \text{FSR}$ 周期存在することになる。例えば、波長間隔が75 (GHz)であってETフィルタのFSRが25 (GHz)とした場合では、75 (GHz)の範囲にETフィルタのピークが3周期分存在する。

すなわち、 Δf (GHz)の範囲で、1枚のETフィルタで波長をロックすることができる領域は、 $2D \times \Delta f / \text{FSR}$ (GHz)となる。

【0111】

したがって、連続ではないが1枚のETフィルタで $2D \times \Delta f / \text{FSR}$ (GHz)の範囲をロックすることができるので、 Δf (GHz)の範囲全体をロック可能にするためには、 $\Delta f / (2D \times \Delta f / \text{FSR}) = \text{FSR} / 2D$ 枚以上のETフィルタが必要となる。

実際の設計では、 $\text{FSR} / 2D$ が整数になるとは限らないので、 $\text{FSR} / 2D$ を切り上げた数の K 枚だけETフィルタが必要となる。つまり、 K は、 $\text{FSR} / 2D$ 以上であって $\text{FSR} / 2D + 1$ より小さい自然数である。

【0112】

このように K 枚のETフィルタを使用することで、発振波長間隔 Δf に無関係にETフィルタのFSR (GHz)の範囲全体においてロックすることができる。また、FSRの範囲全体にわたって、ロックすることができるようにするためには、 K 枚のETフィルタは、 D (GHz)ずつピークをシフトさせるように設計される。

【0113】

例えば、波長間隔が 75 (GHz)、ETフィルタのFSRが50 (GHz) およびETフィルタの一方の肩における波長をロックすることができる領域が10 (GHz) である場合には、必要な枚数は、 $FSR / 2D = 50 / (2 \times 10) = 2.5$ 枚である。よって、3枚のETフィルタがあればよい。これらETフィルタのピークを10 (GHz) ずつずらして配置することで、波長間隔75 (GHz) の範囲全体にわたって波長をロックすることができる。

【0114】

一方、2Dは、半値全幅(FWHM)とほぼ等しくなるので、必要なETフィルタの枚数は、 $FSR / FWHM = \text{フィネス}$ となる。このため、使用されるETフィルタのフィネスとほぼ等しい値の枚数が必要となる。

図9に戻って、温度調整器106および温度検出器107は、ベース基板110に接触するように接続される。

【0115】

ベース基板110は、LD101とETフィルタ104と同一温度になるようにするため、その上にLD101、カプラ102、151、152、ETフィルタ153およびPD154が配置される。したがって、カプラ102、151、152およびPD154は、ベース基板110上に配置しない構成でもよい。

CPU108は、D/A113および温度調整器駆動回路112を介して温度調整器106に接続され、温度調整器106の温度を制御する。

【0116】

CPU108は、D/A114およびLD駆動回路111を介してLD101に接続され、LD101にレーザ光を発振させる。

また、温度検出器107は、ベース基板110の温度を検出し、その出力は、A/D115を介してCPU108に入力される。

一方、CPU108は、D/A126およびSOA駆動回路124を介してSOA122に接続され、SOA122の利得を制御する。

【0117】

SOA122からカプラ123に入射された第1レーザ光は、カプラ123で2つに分配され、一方は、波長可変安定化レーザの出力として射出され、他方は

、PD125に入射される。PD125は、受光したレーザ光の光強度を検出し、その出力は、A/D127を介してCPU108に入力される。

【0118】

また、CPU108は、メモリ209にアクセスする。メモリ209は、後述する波長可変安定化レーザを制御するための第3プログラム、各LD101の初期立ち上げ駆動電流値、SOAの初期立ち上げ駆動電流値、温度ごとに温度調整器106の初期立ち上げ制御値、chごとに波長制御に使用されるETフィルタ153-1～153-3の別、chごとに設定された各目標値、波長可変安定化レーザから射出されるレーザ光の光強度の目標値などが記憶される。

【0119】

ここで、LD101の初期立ち上げ駆動電流値は、chごとに設定される。そして、LD101の初期立ち上げ駆動電流値は、各chに対応するロック点が図10に示すように透過波長特性の1つの肩に1個しか存在しないので、当該ロック点を含む透過波長特性の肩の範囲に対応する波長範囲内でLD101が発振するように設定される。

【0120】

(第4の実施形態の作用効果)

次に、波長可変安定化レーザが発振波長を所望の波長に安定化させる制御について説明する。

図11は、第4の実施形態のフローチャートである。

CPU108は、例えば、電源投入によってメモリ209に記憶されている第3プログラムの実行を開始する。

【0121】

図11において、波長可変安定化レーザ内の各回路を初期化するS1から温度検出器107の出力が定常状態になるS7まで、CPU108は、図6に示す第2の実施形態におけるCPU108の制御と同一であるので、その説明を省略する。

図11のS7において、判断の結果、chXに対応する温度である場合は、CPU108は、chXのロック点が配置されている透過波長特性を持つETフィ

ルタ153から射出されるPD154を選択する。この選択されたPD154の出力をPD_{oz} ($z = 1, 2, 3$) とする。CPU108は、PD_{oz}およびPD_{o4}を取り込み、PD_{oz}/PD_{o2}を算出する(S31)。

【0122】

CPU108は、chXに対応する目標値からPD_{oz}/PD_{o4}を引くことによってPD_{oz}/PD_{o4}とこの目標値との差を算出し、この差が一定の許容値以内であるか否かを判断する(S32)。

判断の結果、算出した差が許容値以内でない場合には、温度調整器106によってLD101の素子温度を変えることによって発振波長を変更し(S33)、S31の処理に戻る。

【0123】

このLD101の素子温度の変更方向は、次のようにして決定される。すなわち、ロック点が透過波長特性の左肩に配置されている場合には、算出した差が「正」であることは、発振波長がロック点より短波長側であることを示すので、CPU108は、発振波長が長くなるように素子温度を変更する。逆に、算出した差が「負」であることは、発振波長がロック点より長波長側であることを示すので、CPU108は、発振波長が短くなるように素子温度を変更する。

【0124】

そして、ロック点が透過波長特性の右肩に配置されている場合には、算出した差が「正」であることは、発振波長がロック点より長波長側であることを示すので、CPU108は、発振波長が短くなるように素子温度を変更する。逆に、算出した差が「負」であることは、発振波長がロック点より短波長側であることを示すので、CPU108は、発振波長が長くなるように素子温度を変更する。

【0125】

一方、判断の結果、許容値以内である場合には、CPU108は、発振波長がchXに対応する波長に安定化(ロック)されたと判断する。そして、CPU108は、読み込んだSOA122の初期立ち上げ駆動電流値をD/A126を介してSOA駆動回路124に出力して、SOA122を作動させる(S34)。

CPU108は、A/D127を介して入力されるPD125の出力を監視し

、一定の許容値以内で読み込んだレーザ光の光強度の目標値であるか否かを判断することによって光強度を一定に制御する（A P C 制御）（S 3 5）。

【0 1 2 6】

このようにして波長可変安定化レーザは、所望の c h X にレーザ光の波長を安定化させる。

そして、c h X から別の c h Y へ切り替える場合には、C P U 1 0 8 は、再度上述の S 3 から S 7 までおよび S 3 1 から S 3 5 までの処理を行う。

このように波長可変安定化レーザは、複数のフィルタを使用するため、各 c h の目標値を必ずいずれかのフィルタの透過波長特性の肩に配置することができる。このため、波長可変安定化レーザは、より確実に安定した所望の波長のレーザ光を射出することができる。さらに、周期的フィルタは、所望の F S R に設計して製造したとしても、その前後の F S R を持つ周期的フィルタが製造されてしまうが、本発明では、適当な領域の個数と周期的フィルタの枚数を設定することにより、透過波長特性の温度依存性が同一であれば E T フィルタが使用可能である。このため、本発明によれば、設計値を外れた F S R を持つ周期的フィルタを使用することができるので、周期的フィルタの製造歩留まりを向上することができる。

【0 1 2 7】

次に、別の実施形態について説明する。

（第 5 の実施形態の構成）

上述の第 2 ないし第 4 の実施形態は、L D の発振波長の温度依存性と周期的フィルタである E T フィルタの透過波長特性の温度依存性が一致していないために、第 2 ないし第 4 の実施形態で説明した対応をとって各 c h の波長にレーザ光の波長をロックするものである。

【0 1 2 8】

そこで、第 5 の実施形態の波長可変安定化レーザは、周期的フィルタである E T フィルタの透過波長特性の温度依存性を L D の発振波長の温度依存性に応じて設計することにより、各 c h の波長にレーザ光の波長をロックするものである。

したがって、第 5 の実施形態の波長可変安定化レーザの構成は、L D 1 0 1、

E T フィルタ 1 0 4 およびメモリ 1 0 9 を除き、第 2 の実施形態の波長可変安定化レーザの構成と同一なので、その説明を省略する。

【 0 1 2 9 】

第 5 の実施形態においては、図 2 における L D 1 0 1 の代わりに L D 2 0 1 -1 ~ 2 0 1 -8 を使用する。L D 2 0 1 は、波長可変安定化レーザの発振可能波長数を 3 2 波とするため、8 個とした。各 L D 2 0 1 は、カプラ 1 0 2 (図 2) に光学的に接続され、発振されたレーザ光がカプラ 1 0 2 に入射される。また各 L D 2 0 1 は、図 1 2 に示すように素子温度、c h およびグリッドを設定される。

【 0 1 3 0 】

また、第 5 の実施形態においては、図 2 における E T フィルタ 1 0 4 の代わりに E T フィルタ 2 0 4 を使用する。

図 1 3 は、第 5 の実施形態における透過波長特性と各 c h のロック点との関係を示す図である。

図 1 3 の縦軸は、E T フィルタ 2 0 4 の透過率に相当し、横軸は、c h (波長) である。各曲線は、各温度における各 E T フィルタ 2 0 4 の透過波長特性を示し、その各温度は、上段から 1 6 (°C)、2 4 (°C)、3 2 (°C)、4 0 (°C) の場合である。そして、各曲線上の黒丸 (●) は、各 c h のロック点、すなわち、所望の発振波長に制御するための目標値である。なお、図 1 3 において、c h 6 以降の記載は、省略されている。

【 0 1 3 1 】

E T フィルタ 2 0 4 の透過波長特性の温度依存性は、次のようにして設計される。

第 5 の実施形態においては、L D アレイ部は、図 1 2 に示すように 0. 1 T H z、すなわち、1 0 0 (G H z) の波長間隔 (グリッド間隔) でレーザ光を発振可能である。また、各 L D 2 0 1 は、1 6 (°C)、2 4 (°C)、3 2 (°C) および 4 0 (°C) において 1 0 0 (G H z) の間隔で 4 波のレーザ光を発振可能である。つまり、各 L D 2 0 1 は、8 (°C) の素子温度の変更によって、発振波長が 1 0 0 (G H z) 変更される。さらに、L D 2 0 1 -1、2 0 1 -3、2 0 1 -5、2 0 1 -7 は、透過波長特性の左肩にロック点を配置し、L D 2 0 1 -2、2 0 1 -4、

2 0 1 - 6、2 0 1 - 8は、透過波長特性の右肩にロック点を配置するようにする。

【0 1 3 2】

このような場合では、E Tフィルタ 2 0 4 の透過波長特性の温度依存性は、1 波長分変更される温度に対し、2 5 (G H z) だけ長波長側にシフトするように設計される。そして、E Tフィルタの F S R は、7 5 (G H z) に設計される。

このように E Tフィルタを設計することにより、各 c h のロック点に対応する目標値を共通にすることができる。

【0 1 3 3】

ここで、L D 2 0 1 の発振波長を或る波長から隣接するグリッドの波長に変更するために必要な温度変更分を $8^{\circ}\text{C} \Delta T (^{\circ}\text{C})$ とすると、E Tフィルタの透過波長特性の温度依存性は、 $2 5 (\text{G H z}) / \Delta T (\text{G H z} / ^{\circ}\text{C})$ と表示される。

各 c h のロック点は、E Tフィルタを上述のように設計することにより、どのような透過率に目標値を設定しても、波長をロックするが、高精度に波長を安定化させる観点から、各 c h のロック点は、図 1 3 に示すように透過波長特性の肩のほぼ中央に配置することが好ましい。

【0 1 3 4】

そして、このような透過波長特性の温度依存性を持つ E Tフィルタは、対向する 2 鏡面に挟まれる媒体を、例えば、線膨張係数の正の材料と負の材料とを組み合わせることによって製造することができる。

さらに、第 5 の実施形態においては、図 2 におけるメモリ 1 0 9 の代わりにメモリ 2 5 9 を使用する。メモリ 2 5 9 は、後述する波長可変安定化レーザを制御するための第 4 プログラム、各 L D 2 0 1 の初期立ち上げ駆動電流値、S O A の初期立ち上げ駆動電流値、温度ごとに温度調整器 1 0 6 の初期立ち上げ制御値、ロック点の目標値、L D 2 0 1 ごとにロック点が配置される肩形状、波長可変安定化レーザから射出されるレーザ光の光強度の目標値などが記憶される。

【0 1 3 5】

ここで、L D 2 0 1 の初期立ち上げ駆動電流値は、c h ごとに設定される。そして、L D 2 0 1 の初期立ち上げ駆動電流値は、各 c h に対応するロック点が図 1 3 に示すように透過波長特性の 1 つの肩に 1 個しか存在しないので、当該ロッ

ク点を含む透過波長特性の肩の範囲に対応する波長範囲内でLD 2 0 1が発振するように設定される。

【0 1 3 6】

(第5の実施形態の作用効果)

次に、波長可変安定化レーザが発振波長を所望の波長に安定化させる制御について説明する。

図14は、第5の実施形態のフローチャートである。

CPU 1 0 8は、例えば、電源投入によってメモリ259に記憶されている第4プログラムの実行を開始する。

【0 1 3 7】

図14において、波長可変安定化レーザ内の各回路を初期化するS1から温度検出器107の出力が定常状態になるS7まで、CPU 1 0 8は、図6に示す第2の実施形態におけるCPU 1 0 8の制御と同一であるので、その説明を省略する。

図14のS7において、判断の結果、chXに対応する温度である場合は、CPU 1 0 8は、メモリ259からchXのロック点が配置されている肩形状を取り込む(S41)。肩形状は、chXがLD 2 0 1-1、2 0 1-3、2 0 1-5、2 0 1-7のいずれかから射出されるレーザ光である場合には、左肩であり、一方、chXがLD 2 0 1-2、2 0 1-4、2 0 1-6、2 0 1-8のいずれかから射出されるレーザ光である場合には、右肩である。

【0 1 3 8】

CPU 1 0 8は、PD_{o1}およびPD_{o2}を取り込み、PD_{o1}/PD_{o2}を算出する(S42)。

CPU 1 0 8は、目標値からPD_{o1}/PD_{o2}を引くことによってPD_{o1}/PD_{o2}とこの目標値との差を算出し、この差が一定の許容値以内であるか否かを判断する(S43)。

【0 1 3 9】

判断の結果、算出した差が許容値以内でない場合には、S41で読み込んだ肩形状を判断する(S44)。

CPU108は、温度調整器106によってLD101の素子温度を変えることによって発振波長を変更し（S45）、S42の処理に戻る。

【0140】

このLD101の素子温度の変更方向は、次のようにして決定される。すなわち、ロック点が透過波長特性の左肩に配置されている場合には、算出した差が「正」であることは、発振波長がロック点より短波長側であることを示すので、CPU108は、発振波長が長くなるように素子温度を変更する。逆に、算出した差が「負」であることは、発振波長がロック点より長波長側であることを示すので、CPU108は、発振波長が短くなるように素子温度を変更する。

【0141】

そして、ロック点が透過波長特性の右肩に配置されている場合には、算出した差が「正」であることは、発振波長がロック点より長波長側であることを示すので、CPU108は、発振波長が短くなるように素子温度を変更する。逆に、算出した差が「負」であることは、発振波長がロック点より短波長側であることを示すので、CPU108は、発振波長が長くなるように素子温度を変更する。

【0142】

一方、判断の結果、許容値以内である場合には、CPU108は、発振波長がchXに対応する波長に安定化（ロック）されたと判断する。そして、CPU108は、読み込んだSOA122の初期立ち上げ駆動電流値をD/A126を介してSOA駆動回路124に出力して、SOA122を作動させる（S46）。

CPU108は、A/D127を介して入力されるPD125の出力を監視し、一定の許容値以内で読み込んだレーザ光の光強度の目標値であるか否かを判断することによって光強度を一定に制御する（APC制御）（S47）。

【0143】

このようにして波長可変安定化レーザは、所望のchXにレーザ光の波長を安定化させる。

そして、chXから別のchYへ切り替える場合には、CPU108は、再度上述のS3からS7までおよびS41からS47までの処理を行う。

このような構成の波長可変安定化レーザは、ETフィルタにおける透過波長特

性の温度依存性をレーザの発振波長の温度依存性に応じて調整するので、各 $c h$ のロック点に対応する目標値を共通にすることができ、より確実に安定した所望の波長のレーザ光を射出することができる。

【 0 1 4 4 】

なお、第 5 の実施形態において、E T フィルタは、透過波長特性の温度依存性を $25 \text{ (GHz)} / \Delta T G \text{ (}^\circ\text{C)}$ に、F S R を 75 (GHz) と設計したが、これに限定されるものではない。

一般的には、1 個で波長間隔 $\Delta f \text{ (GHz)}$ 、 n 波を発振することができるレーザを複数個備える場合では、E T フィルタは、以下のように設計される。

【 0 1 4 5 】

まず、波長間隔（周波数間隔） Δf と E T フィルタの F S R とが異なる場合は、 $(\Delta f - \text{FSR}) / \Delta T G \text{ (GHz} / ^\circ\text{C)}$ の温度特性を持ち、かつ、 $(\Delta f \times n) / \text{FSR}$ が整数となる E T フィルタに設計する。

例えば、 50 (GHz) 波長間隔、4 波を発振することができるレーザを複数個備える場合は、 $\text{FSR } 40 \text{ (GHz)}$ 温度依存性 $10 / \Delta T G \text{ (GHz} / ^\circ\text{C)}$ 、または、 $\text{FSR } 20 \text{ (GHz)}$ 温度依存特性 $30 / T G \text{ (GHz)}$ 、または、 $\text{FSR } 25 \text{ (GHz)}$ 温度依存特性 $25 / \Delta T G \text{ (GHz} / ^\circ\text{C)}$ となるように E T フィルタを設計すればよい。

【 0 1 4 6 】

そして、波長間隔 Δf と E T フィルタの F S R とが同じ場合では、 $\text{FSR} / \Delta T G \text{ (GHz} / ^\circ\text{C)}$ の温度依存性を持つ E T フィルタに設計する。

また、例えば、LD アレイ部が 100 (GHz) 波長間隔で 4 波を発振することができるレーザを複数個備える場合では、E T フィルタは、透過波長特性の温度依存性を $100 / 8 \text{ (GHz} / ^\circ\text{C)}$ に、F S R を 100 (GHz) と設計してもよい。

【 0 1 4 7 】

また、LD アレイ部が 100 (GHz) 波長間隔で 4 波を発振することができるレーザを複数個備える場合では、E T フィルタは、透過波長特性の温度依存性を $50 / 8 \text{ (GHz} / ^\circ\text{C)}$ に、F S R を 50 (GHz) と設計してもよい。

さらに、LDアレイ部が100 (GHz) 波長間隔で4波を発振することができるレーザを複数個備える場合では、ETフィルタは、透過波長特性の温度依存性を25/8 (GHz/℃) に、FSRを50 (GHz) と設計してもよい。

【0148】

また、LDアレイ部が100 (GHz) 波長間隔で4波を発振することができるレーザを複数個備える場合では、ETフィルタは、透過波長特性の温度依存性を20/8 (GHz/℃) に、FSRを80 (GHz) と設計してもよい。

次に、別の実施形態について説明する。

(第6の実施形態の構成)

第6の実施形態は、光源と周期的フィルタとが異なる温度依存性を持つことから、光源および周期的フィルタの温度を互いに独立して制御する波長可変安定化レーザの実施形態である。

【0149】

光源の発振波長は、8波のWDM方式光信号の光源に使用することができるようにするため、1550 (nm) 波長帯域においてITU-Tの勧告に従い0.8 (nm) 波長間隔でch0～ch7の波長である。

図15は、第6の実施形態の波長可変安定化レーザの構成を示す図である。

なお、図15において、図2と同一の構成は、同一の参照符号を付すことによってその説明を省略する。

【0150】

図15において、LD101-1およびLD101-2は、カプラ102にレーザ光を射出する。これらLD101およびカプラ102は、ベース基板310-1上に形成され、LDアレイ部を構成する。LDアレイ部は、後述する制御によって8波のうちの1波のレーザ光をカプラ103に射出する。

カプラ103に入射されたレーザ光は、3つに分配され、分配された第1レーザ光は、ISO121、SOA122を介してカプラ123に入射される。分配された第2レーザ光は、ETフィルタ104を介してPD105-1に入射される。分配された第3レーザ光は、PD105-2に入射される。

【0151】

第 2 の実施形態と同様に、PD 1 0 5 -1 の出力を PD o1 とし、PD 1 0 5 -2 の出力を PD o2 とする。

これらカプラ 1 0 3、ET フィルタ 1 0 4 および PD 1 0 5 は、波長検出部を構成する。

ET フィルタ 1 0 4 の FSR は、LD アレイ部が発振可能な波長間隔を考慮して決定される。特に、その FSR は、この波長間隔に合わせることが望ましい。本実施形態では、LD アレイ部が 0.8 (nm) 間隔でレーザ光を発振可能であることから、その FSR は、0.8 (nm) に設定される。さらに、FSR は、LD アレイ部の発振可能な波長間隔の 1/2 倍、1/4 倍などに合わせることも好適である。

【0152】

また、ET フィルタ 1 0 4 の或る極大値は、透過波長特性の肩上に配置されるロック点（目標値、透過率）を考慮して決定される。特に、ロック点が、透過波長特性の肩のほぼ中央に配置されるようにすることが望ましい。このようにロック点を配置すると、ロック点が、引込範囲のほぼ中央の波長に配置されるため、LD 1 0 1 がロック点の短波長側および長波長側のいずれの波長で立ち上がったとしても、確実に波長を安定化させることができるからである。

【0153】

さらに、ET フィルタ 1 0 4 の半値幅は、ロック点の前後における透過波長特性の傾きを考慮して決定される。この傾きが緩やかであると、発振波長の変化に対し PD o1 / PD o2 の変化が少ないため、発振波長を所望の波長に安定化させる精度が低くなる。一方、この傾きが急峻であると、発振波長の変化に対し PD o1 / PD o2 の変化が大きいため、過渡応答時間が長くなるなど、発振波長を所望の波長に安定化させるためのフィードバック制御が容易ではない。

【0154】

図 1 5 に戻って、LD アレイ部の温度を制御するため、温度調整器 3 0 1 -1 および温度検出器 3 0 4 -1 は、ベース基板 3 1 0 -1 に接触するように接続される。

ベース基板 3 1 0 -1 は、LD 1 0 1 の温度を制御することができれば良いことから、カプラ 1 0 2 がベース基板 3 1 0 -1 上に配置されない構成でもよい。

温度調整器 3 0 4 -1 は、ベース基板 3 1 0 -1 の温度を変更するペルチェ素子である。温度調整器 3 0 4 -1 の温度は、CPU 1 0 8 が D / A 3 0 3 -1 を介して温度調整器駆動回路 3 0 2 -1 の電流値を変えることによって制御される。温度調整器駆動回路 3 0 2 -1 は、制御された電流を温度調整器 3 0 1 -1 に供給する。

【 0 1 5 5 】

温度検出器 3 0 4 -1 は、ベース基板 1 1 0 の温度を検出するサーミスタである。温度検出器 3 0 4 -1 の出力は、A / D 3 0 5 -1 を介して CPU 1 0 8 に入力される。

同様に、波長検出部の温度を制御するため、温度調整器 3 0 1 -2 および温度検出器 3 0 4 -2 は、ベース基板 3 1 0 -2 に接触するように接続される。

【 0 1 5 6 】

ベース基板 3 1 0 -2 は、E T フィルタ 1 0 4 の温度を制御することができれば良いことから、カプラ 1 0 3 および P D 1 0 5 がベース基板 3 1 0 -2 上に配置されない構成でもよい。

CPU 1 0 8 は、D / A 3 0 3 -2 および温度調整器駆動回路 3 0 2 -2 を介して温度調整器 3 0 1 -2 に接続され、温度調整器 3 0 1 -2 の温度を制御する。

【 0 1 5 7 】

また、温度検出器 3 0 4 -2 は、ベース基板 3 1 0 -2 の温度を検出し、その出力は、A / D 3 0 5 -2 を介して CPU 1 0 8 に入力される。

CPU 1 0 8 は、D / A 1 1 4 および L D 駆動回路 1 1 1 を介して L D 1 0 1 に接続され、L D 1 0 1 にレーザ光を発振させる。

一方、CPU 1 0 8 は、D / A 1 2 6 および S O A 駆動回路 1 2 4 を介して S O A 1 2 2 に接続され、S O A 1 2 2 の利得を制御する。

【 0 1 5 8 】

S O A 1 2 2 からカプラ 1 2 3 に入射された第 1 レーザ光は、カプラ 1 2 3 で 2 つに分配され、一方は、波長可変安定化レーザの出力として射出され、他方は、P D 1 2 5 に入射される。P D 1 2 5 は、受光したレーザ光の光強度を検出し、その出力は、A / D 1 2 7 を介して CPU 1 0 8 に入力される。

また、CPU 1 0 8 は、メモリ 3 0 9 にアクセスする。メモリ 3 0 9 は、後述

する波長可変安定化レーザを制御するための第5プログラム、各LD101の初期立ち上げ駆動電流値、SOAの初期立ち上げ駆動電流値、温度ごとに各温度調整器301の初期立ち上げ制御値、ロック点の目標値、波長可変安定化レーザから射出されるレーザ光の光強度の目標値などが記憶される。

【0159】

ここで、LD101の初期立ち上げ駆動電流値は、chごとに設定される。そして、LD101の初期立ち上げ駆動電流値は、各chに対応するロック点が透過波長特性の1つの肩に1個しか存在しないので、当該ロック点を含む透過波長特性の肩の範囲に対応する波長範囲内でLD101が発振するように設定される。

【0160】

また、温度調整器301-2の初期立ち上げ駆動電流値は、ETフィルタ104における透過波長特性の温度依存性を考慮し、各chに対応する温度でロック点が所定の透過波長特性の肩上に配置されるように正確に設定される。そして、波長検出部の温度は、LDアレイ部の温度より10(℃)ないし15(℃)高くなるように設定することが好ましい。LDアレイ部が波長検出部の熱放射などの影響を受けることおよび半導体レーザで構成されていることから、CPU108は、このように設定することによってLDアレイ部の温度を容易に制御することができる。

【0161】

さらに、ロック点の目標値は、光源であるLDアレイ部と周期的フィルタであるETフィルタとが独立して温度を制御されるので、各chに共通な目標値にすることができる。

(第6の実施形態の作用効果)

次に、波長可変安定化レーザが発振波長を所望の波長に安定化させる制御について説明する。

【0162】

図16は、第6の実施形態のフローチャートである。

CPU108は、例えば、電源投入によってメモリ309に記憶されている第

5 プログラムの実行を開始する。

【0163】

図16において、CPU108は、波長可変安定化レーザ内の各回路を初期化する(S61)。

CPU108は、波長可変安定化レーザに対するchの立ち上げ要求があったか否かを判断する(S62)。要求がない場合には、要求があるまで、S62の処理を繰り返す。

【0164】

chの立ち上げ要求(発振波長の設定)は、例えば、この波長可変安定化レーザがWDM方式光通信システムにおける送信局の光源装置として使用される場合では、送信局を統括する制御装置によってCPU108に入力される。

要求があった場合には、CPU108は、メモリ309にアクセスし、chXに対応するLD101、LD101の初期立ち上げ駆動電流値、SOA122の初期立ち上げ駆動電流値、chXに対応する温度にするための各温度調整器301の初期立ち上げ制御値、ロック点の目標値、波長可変安定化レーザから射出されるレーザ光の光強度の目標値を読み込む(S63)。

【0165】

CPU108は、読み込んだ各温度調整器301の初期立ち上げ制御値を各D/A303を介して各温度調整器駆動回路302に出力して、各温度調整器301を作動させる(S64)。

CPU108は、chXに対応するLD101にLD101の初期立ち上げ駆動電流をD/A114およびLD駆動回路111を介して供給する(S65)。

【0166】

この駆動電流によってLD101は、レーザ光の発振を開始する。

CPU108は、各A/D305を介して入力される温度検出器304の出力を監視し(S66)、一定の許容値以内でchXに対応する温度であるか否かを判断する(S67)。

判断の結果、chXに対応する温度ではない場合は、S66およびS67の処理を繰り返す。一方、chXに対応する温度である場合は、CPU108は、P

D01およびPD02を取り込み、PD01/PD02を算出する（S68）。

【0167】

CPU108は、chXに対応する目標値からPD01/PD02を引くことによってPD01/PD02とこの目標値との差を算出し、この差が一定の許容値以内であるか否かを判断する（S69）。PD01/PD02とこの目標値との差を算出することは、LD101の現在の発振波長とchXに対応する波長との差を算出することに相当する。

【0168】

判断の結果、算出した差が許容値以内でない場合には、LD駆動回路111によってLD101の駆動電流を変えることによって発振波長を変更し（S70）、S68の処理に戻る。

このLD101の駆動電流の変更方向は、ロック点が配置される透過波長特性の肩形状および算出した差の「正負」を考慮して決定される。

【0169】

一方、判断の結果、許容値以内である場合には、CPU108は、発振波長がchXに対応する波長に安定化（ロック）されたと判断する。そして、CPU108は、読み込んだSOA122の初期立ち上げ駆動電流値をD/A126を介してSOA駆動回路124に出力して、SOA122を作動させる（S71）。

CPU108は、A/D127を介して入力されるPD125の出力を監視し、一定の許容値以内で読み込んだレーザ光の光強度の目標値であるか否かを判断することによって光強度を一定に制御する（APC制御）（S72）。

【0170】

このようにして波長可変安定化レーザは、所望のchXにレーザ光の波長を安定化させる。

そして、chXから別のchYへ切り替える場合には、CPU108は、再度上述のS63からS72までの処理を行う。

波長可変安定化レーザは、LD101における発振波長の温度依存性とETフィルタ104における透過波長特性の温度依存性を考慮して、LD101とETフィルタ104とを独立に温度制御するので、各ch（各発振波長）の目標値

を共通な値にすることができる。

【0171】

このため、波長可変安定化レーザは、発振可能なすべての波長のレーザ光に対し波長を安定にして射出することができる。

なお、第2ないし第6の実施形態では、説明を簡単にするため波長可変安定化レーザの発振可能な波長数を具体的に特定して説明したが、これに限定されるものではない。波長可変安定化レーザの発振可能な波長数は、任意である。

【0172】

そして、第2および第3実施形態においては、各ロック点を透過波長特性の左肩に配置したが、透過波長特性の右肩に配置してもよい。この場合には、ETフィルタの透過波長特性が素子温度の上昇に従って長波長側にシフトするので、第1目標値、第2目標値、第3目標値、第4目標値は、この順に透過率の小さい方から配置される。そして、素子温度の変更方向において、目標値からPD01/PD02を引いた差が「正」であることは、発振波長がロック点より長波長側であることを示すので、発振波長が短くなるように素子温度を変更する。逆に、この差が「負」であることは、発振波長がロック点より短波長側であることを示すので、発振波長が長くなるように素子温度を変更する。

【0173】

また、第2ないし第6の実施形態においては、光増幅器としてSOAを使用したが、光ファイバ増幅器を使用してもよい。波長可変安定化レーザの出力波長帯が1550 (nm) 波長帯である場合には、エルビウム元素添加光ファイバ増幅器を使用することができる。エルビウム元素 (erbium) は、ランタノイドの希土類元素の1つで、元素記号Er、原子番号68である。ランタノイドに属する元素は、互いに性質が類似している。他の波長帯域を増幅する希土類元素として、ネオジウム (Nd)、プラセオジウム (Pr) およびツリウム (Tm) などが知られている。また、光ファイバ増幅器には、誘導ラマン散乱や誘導ブリルアン散乱を利用する光増幅器もある。

【0174】

さらに、第2ないし第6の実施形態では、SOA122は、ISO121の射

出側に接続したがこれに限定されるものではない。SOA 1 2 2 は、最終的に波長可変安定化レーザの出力となるレーザ光を増幅することができる場所に配置されればよい。例えば、SOA 1 2 2 は、カプラ 1 0 2 とカプラ 1 0 3 (カプラ 1 5 1) との間に配置し、カプラ 1 0 2 から射出されるレーザ光を増幅してカプラ 1 0 3 (カプラ 1 5 1) に入射させても良い。このように配置することによって LD 1 0 1 と SOA 1 2 2 を一体形成することができる。または、例えば、SOA 1 2 2 は、カプラ 1 0 3 (カプラ 1 5 1) と ISO 1 2 1 カプラ 1 0 3 との間に配置し、カプラ 1 0 3 (カプラ 1 5 1) から射出されるレーザ光を増幅して ISO 1 2 1 に入射させても良い。

【0 1 7 5】

次に、波長可変安定化レーザのモジュールについて説明する。

図 1 7 は、波長可変安定化レーザのモジュールの第 1 構成例を示す図である。

図 1 8 は、波長可変安定化レーザのモジュールの第 2 構成例を示す図である。

図 1 9 は、波長可変安定化レーザのモジュールの第 3 構成例を示す図である。

図 2 0 は、波長可変安定化レーザのモジュールの第 4 構成例を示す図である。

【0 1 7 6】

なお、図 2 0 (a) は、モジュールの上面図であり、図 2 0 (b) は、上段の図に示す A-A' における側面図である。

これら第 1 ないし第 4 構成例のモジュールは、第 1 ないし第 6 の実施形態に使用することができる。特に、第 2 構成例のモジュールは、第 6 の実施形態の使用に好適である。ここで、第 1 および第 3 構成例のモジュールは、SOA を LD と一体形成した場合を示し、第 2 構成例のモジュールは、SOA を ISO の入射側に配置した場合を示す。また、第 4 構成例のモジュールは、LD アレイチップなどで構成される LD アレイ部と ET フィルタなどで構成される波長検出部のベース基板を別にして個別に温度制御する場合である。さらに、第 1 ないし第 4 構成例のモジュールは、LD が 8 個備えられた 3 2 波発振可能な場合を示す。

【0 1 7 7】

図 1 7 において、第 1 構成例のモジュールは、LD 3 0 1、カプラ 3 0 2、SOA 3 0 3、集光するためのレンズ 3 0 5、PD 3 0 6、3 0 9、プリズム 3 0

7、ETフィルタ308、サーミスタ310、ペルチェ素子312、半導体基板313、ベース基板314、ISO315およびパッケージ316とを備えて構成される。

【0178】

LD301、カプラ302およびSOA303は、同一半導体基板313上に一体形成され、LDアレイ部を構成する。また、LDアレイ部、レンズ305、PD306、309、プリズム307、ETフィルタ308、サーミスタ310は、ベース基板314上に配置され、ベース基板314は、ペルチェ素子312上に配置される。そして、これら各素子は、パッケージ316内に収納される。

【0179】

ここで、例えば、第2の実施形態と第1構成例とを対比すると、LD101はLD301に対応し、カプラ102はカプラ302に対応し、カプラ103はプリズム307に対応し、ETフィルタ104はETフィルタ308に対応し、PD105-1はPD309に対応し、PD105-2はPD306に対応し、SOA122はSOA303に対応し、ISO121はISO312に対応し、温度調整器106はペルチェ素子312に対応し、温度検出器107はサーミスタ310に対応する。

【0180】

図18において、第2構成例のモジュールは、LD401、カプラ402、集光するためのレンズ405、410、412、PD407、409、プリズム406、ETフィルタ408、サーミスタ414、ペルチェ素子413、SOA411、ベース基板415、ISO416およびパッケージ417とを備えて構成される。

【0181】

LD401およびカプラ402は、同一半導体基板上に一体形成され、LDアレイ部を構成する。また、LDアレイ部、レンズ405、410、412、PD407、409、プリズム406、ETフィルタ408、サーミスタ414およびSOA411は、ベース基板415上に配置され、ベース基板415は、ペルチェ素子413上に配置される。ペルチェ素子413は、LDアレイ部の温度お

よび波長検出部の温度を調整する。波長検出部は、レンズ405、410、412、PD407、409、プリズム406、ETフィルタ408、サーミスタ414およびSOA411から構成される。そして、これら各素子は、パッケージ417内に収納される。

【0182】

ここで、例えば、第2の実施形態と第2構成例とを対比すると、LD101はLD401に対応し、カプラ102はカプラ402に対応し、カプラ103はプリズム406に対応し、ETフィルタ104はETフィルタ408に対応し、PD105-1はPD409に対応し、PD105-2はPD407に対応し、SOA122はSOA411に対応し、ISO121はISO416に対応し、温度調整器106はペルチェ素子413に対応し、温度検出器107はサーミスタ414に対応する。

【0183】

図19において、第3構成例のモジュールは、LD501、LD501のバックパワーを検出するPD502、カプラ503、505、SOA504、集光するためのレンズ506、PD509、510、プリズム507、ETフィルタ508、サーミスタ511、ペルチェ素子512、ISO513、ベース基板514およびパッケージ515とを備えて構成される。

【0184】

LD501、カプラ503、505およびSOA504は、同一半導体基板上に一体形成され、LDアレイ部を構成する。また、LDアレイ部、PD502、LDアレイ部、レンズ506、PD510、509、プリズム507、ETフィルタ508およびサーミスタ511は、ベース基板514上に配置され、ベース基板514は、ペルチェ素子512上に配置される。そして、これら各素子は、パッケージ515内に収納される。

【0185】

ここで、例えば、第2の実施形態と第3構成例とを対比すると、LD101はLD501に対応し、カプラ102はカプラ503に対応し、カプラ103はカプラ505およびプリズム507に対応し、ETフィルタ104はETフィルタ

508に対応し、PD105-1はPD509に対応し、PD105-2はPD510に対応し、SOA122はSOA504に対応し、ISO121はISO513に対応し、温度調整器106はペルチェ素子512に対応し、温度検出器107はサーミスタ511に対応する。

【0186】

図20において、第4構成例のモジュールは、LDアレイチップ601、集光するためのレンズ603、614、PD602、604、607、プリズム605、ETフィルタ606、サーミスタ608、609、ペルチェ素子612およびベース基板613とを備えて構成される。

LDアレイチップ601は、8個のLDとこのLDから射出されたレーザ光を合波するカプラとカプラからの出力光を増幅するSOAとを備え、これらが同一半導体基板上に一体形成されている。PD602は、LDアレイチップ602から射出されるバックレーザ光のバックパワーを受光する。そして、LDアレイチップ601、PD602、サーミスタ609およびレンズ603は、ベース基板613-1に配置され、ベース基板613-1は、ペルチェ素子612-1上に配置される。

【0187】

そして、PD604、607、プリズム605、ETフィルタ606およびサーミスタ608は、ベース基板613-2は、ペルチェ素子612-2上に配置される。これら各ペルチェ素子612は、パッケージ600内に納められる。

また、LDアレイチップ601、PD602、604、607、サーミスタ608、609およびペルチェ素子612の各電極パッドは、パッケージ600に備えられた内外を電氣的に接続するための各接続ピン611にワイヤボンディング(wire bonding)によってそれぞれ接続される。

【0188】

さらに、例えば、第2の実施形態と第4構成例とを対比すると、LD101およびカプラ102はLDアレイチップ601に対応し、カプラ103はプリズム605に対応し、ETフィルタ104はETフィルタ606に対応し、PD105-1はPD607に対応し、PD105-2はPD604に対応し、温度調整器1

0 6 はペルチェ素子 6 1 2 に対応し、温度検出器 1 0 7 はサーミスタ 6 0 8、6 0 9 に対応する。

【 0 1 8 9 】

【発明の効果】

本発明にかかる可変波長安定化レーザは、可変波長レーザを備えるので、射出されるレーザの波長を変更することができる。さらに、本発明にかかる可変波長安定化レーザは、波長検出部における透過波長特性の温度依存性を考慮してレーザ光の波長を制御するので、所望の波長で安定化することができる。

そして、本発明にかかる可変波長安定化レーザは、可変波長レーザと波長検出部とを一体にすることができるので小型化および低廉化することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

第 1 の実施形態の波長可変安定化レーザの構成を示す図である。

【図 2】

第 2 の実施形態の波長可変安定化レーザの構成を示す図である。

【図 3】

第 2 の実施形態の各 L D における素子温度、c h および波長の関係を示す図である。

【図 4】

透過波長特性と各 c h のロック点との関係を示す図である。

【図 5】

第 2 の実施形態における透過波長特性の肩に配置される各ロック点を説明するための図である。

【図 6】

第 2 の実施形態のフローチャートである。

【図 7】

第 3 の実施形態における各 c h のロック点と初期立ち上げ波長との関係を示す図である。

【図 8】

第 3 の実施形態のフローチャートである。

【図 9】

第 4 の実施形態の波長可変安定化レーザの構成を示す図である。

【図 1 0】

第 4 の実施形態における各 E T フィルタの透過波長特性と c h のロック点との関係を示す図である。

【図 1 1】

第 4 の実施形態のフローチャートである。

【図 1 2】

第 5 の実施形態の各 L D における素子温度、c h およびグリッドの間の関係を示す図である。

【図 1 3】

第 5 の実施形態における透過波長特性と各 c h のロック点との関係を示す図である。

【図 1 4】

第 5 の実施形態のフローチャートである。

【図 1 5】

第 6 の実施形態の波長可変安定化レーザの構成を示す図である。

【図 1 6】

第 6 の実施形態のフローチャートである。

【図 1 7】

波長可変安定化レーザのモジュールの第 1 構成例を示す図である。

【図 1 8】

波長可変安定化レーザのモジュールの第 2 構成例を示す図である。

【図 1 9】

波長可変安定化レーザのモジュールの第 3 構成例を示す図である。

【図 2 0】

波長可変安定化レーザのモジュールの第 4 構成例を示す図である。

【図 2 1】

従来のWDM方式用光源装置を示す図である。

【図 2 2】

ファブリペローエタロンフィルタの透過波長特性における温度依存性を示す図である。

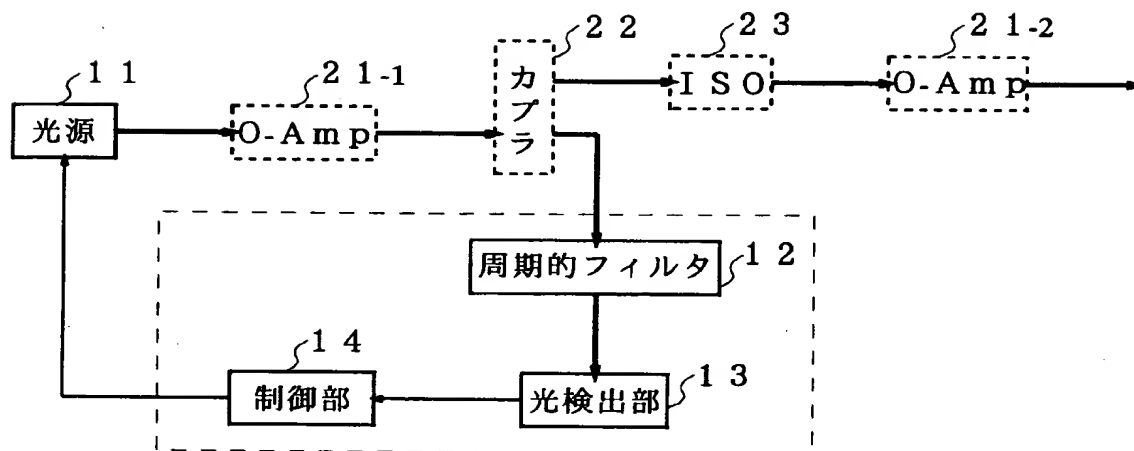
【符号の説明】

- 1 1 光源
- 1 2 周期的フィルタ
- 1 3 光検出部
- 1 4 制御部
- 2 1 光増幅器
- 1 0 1 LD
- 1 0 4、1 5 3 ETフィルタ
- 1 0 5、1 5 4 PD
- 1 0 6、3 0 1 温度調整器
- 1 0 7、3 0 4 温度検出器
- 1 0 8 CPU
- 1 0 9、3 0 9 メモリ
- 1 2 2 SOA

【書類名】 図面

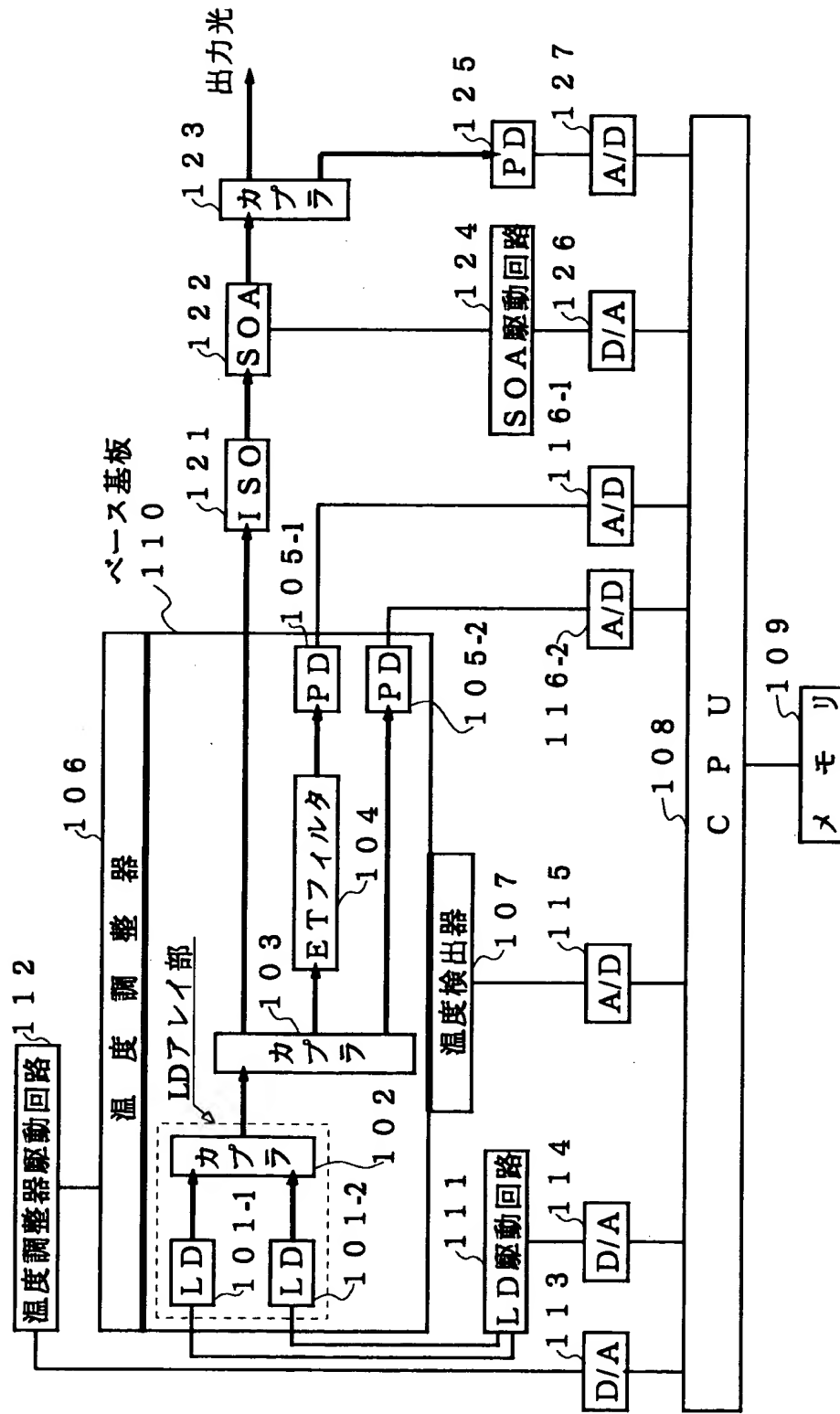
【図 1】

第 1 の実施形態の波長可変安定化レーザの構成



【図2】

第2の実施形態の波長可変安定化レーザーの構成



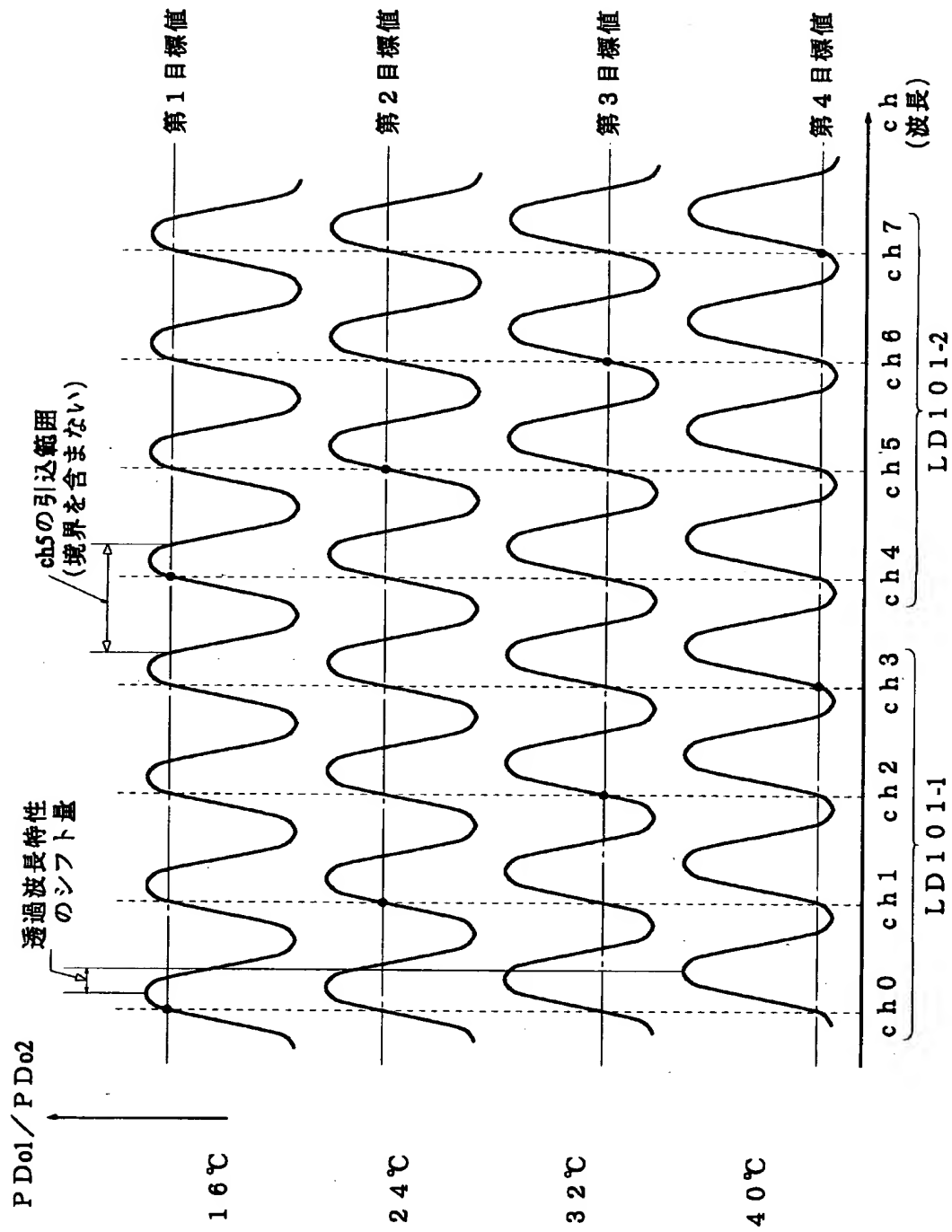
【図 3】

第 2 の実施形態の各 L D における素子温度、c h およびグリッドの関係

素子温度 (°C)	チャンネル	グリッド		L D
		(nm)	(THz)	
16	ch0	1535.82	195.20	LD101-1
24	ch1	1536.61	195.10	
32	ch2	1537.40	195.00	
40	ch4	1538.19	194.90	
16	ch5	1538.98	194.80	LD101-2
24	ch6	1539.77	194.70	
32	ch7	1540.56	194.60	
40	ch8	1541.35	194.50	

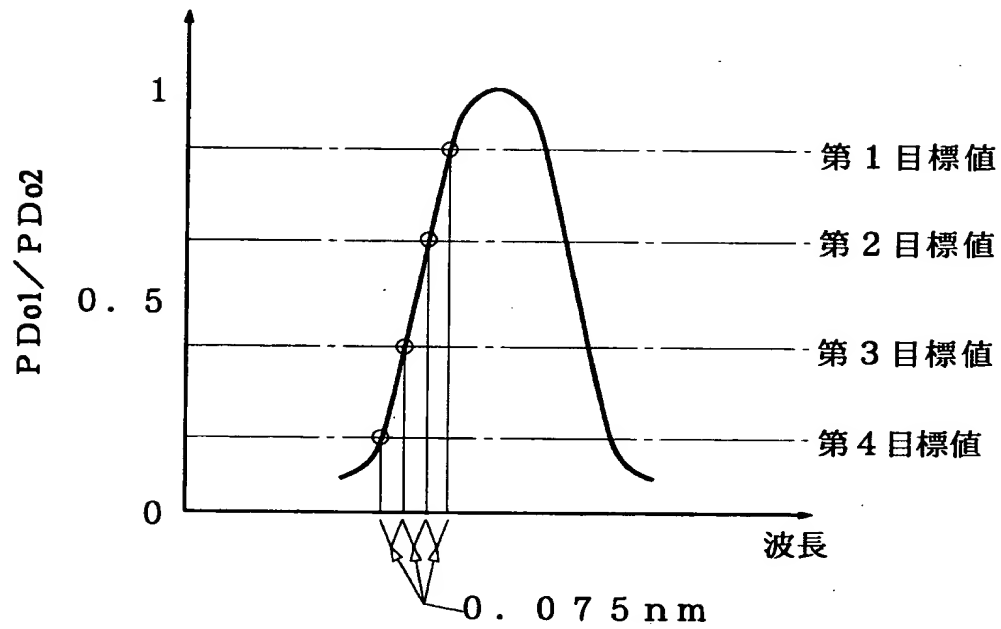
【図 4】

第 2 の実施形態における透過波長特性と各 ch のロック点との関係



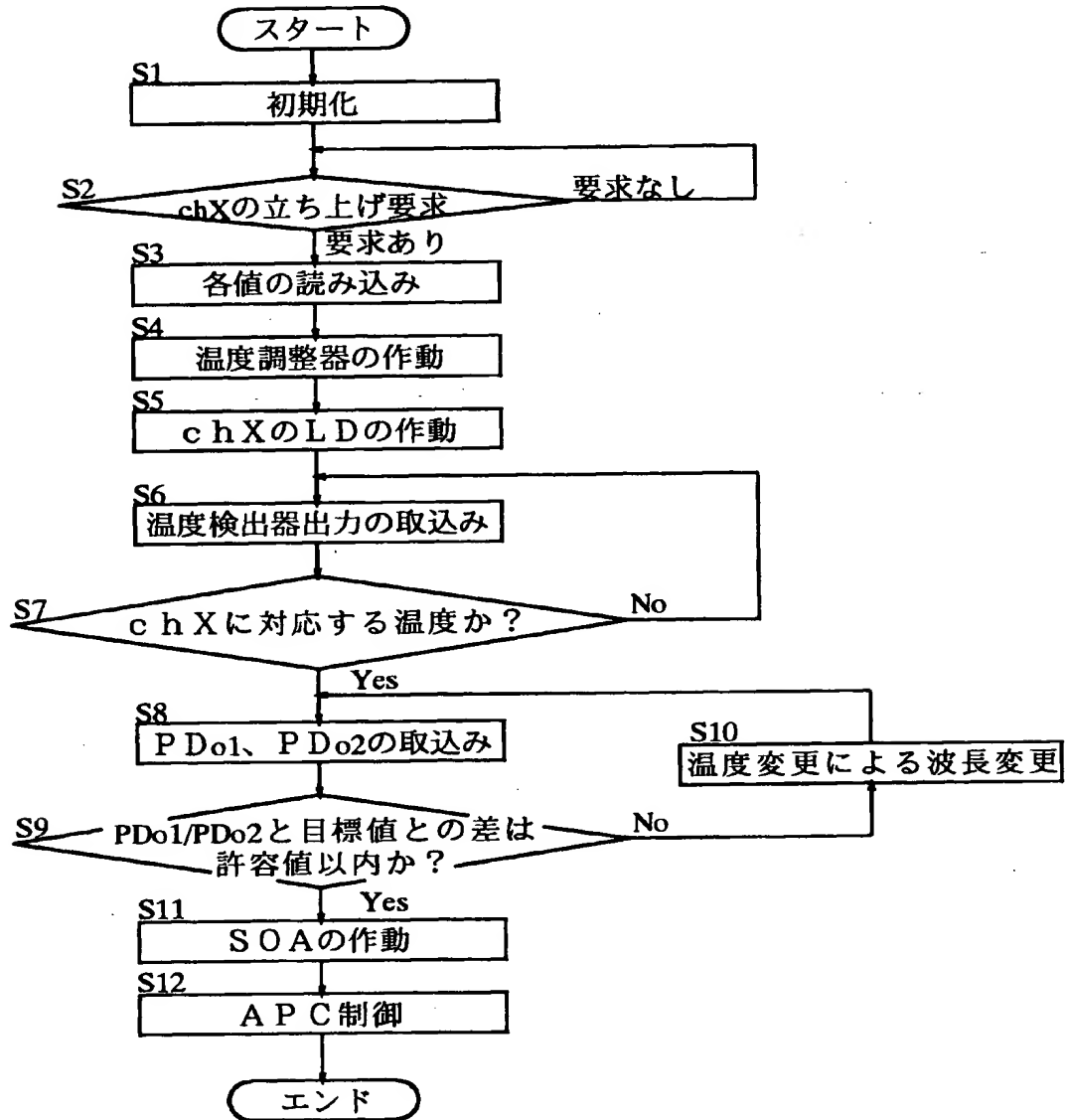
【図 5】

透過波長特性の肩に配置される各ロック点の説明図

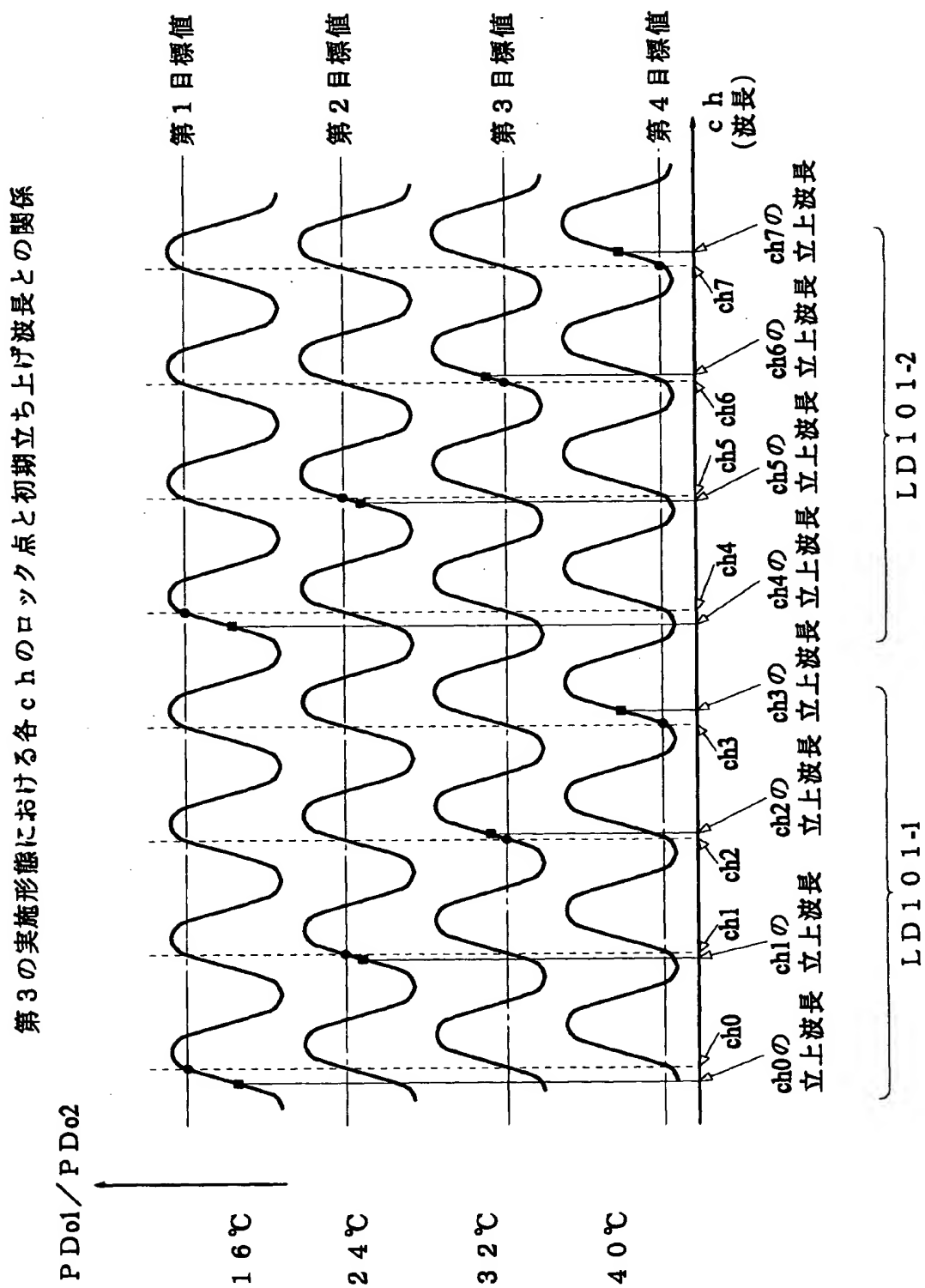


【図 6】

第 2 の実施形態のフローチャート

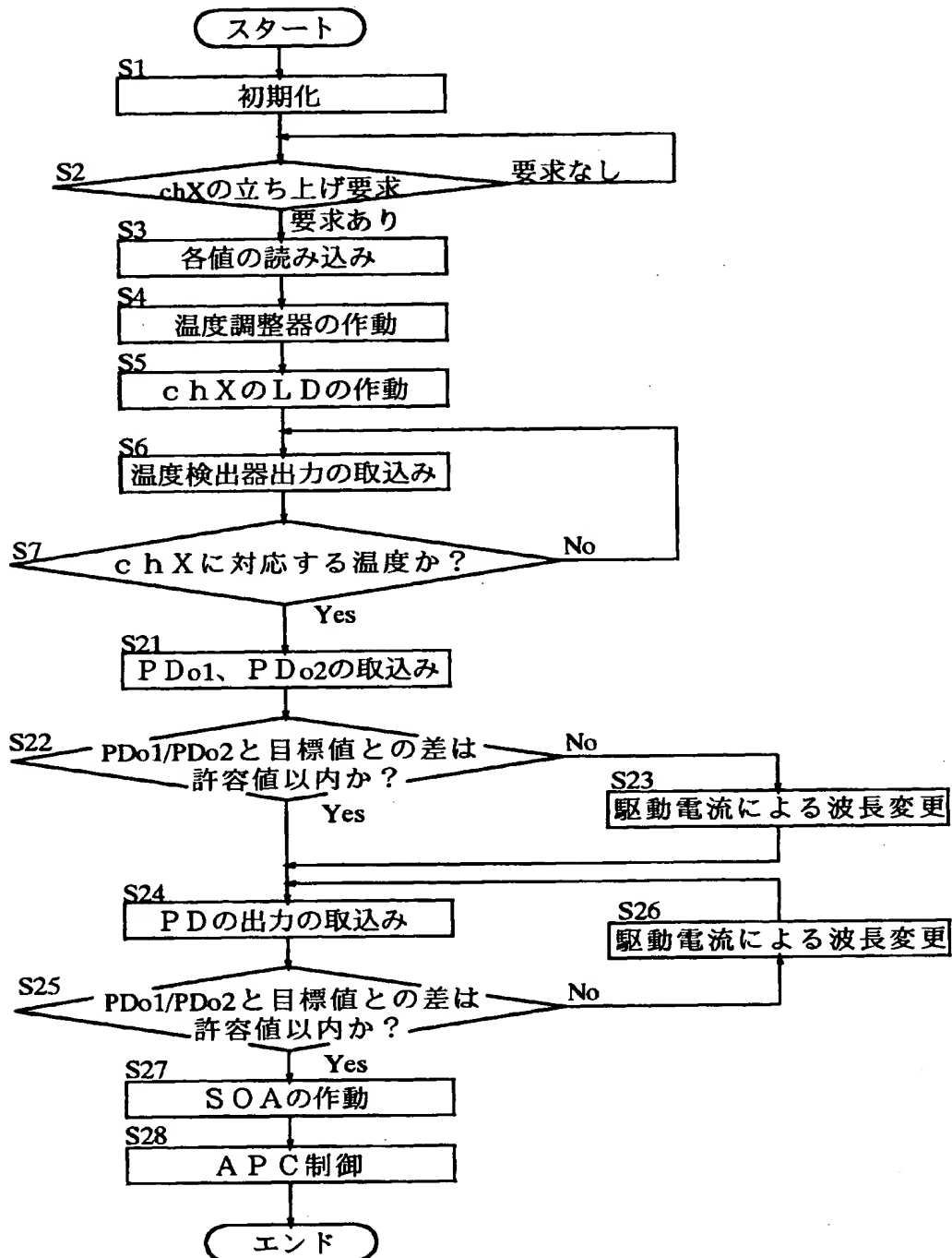


【図 7】



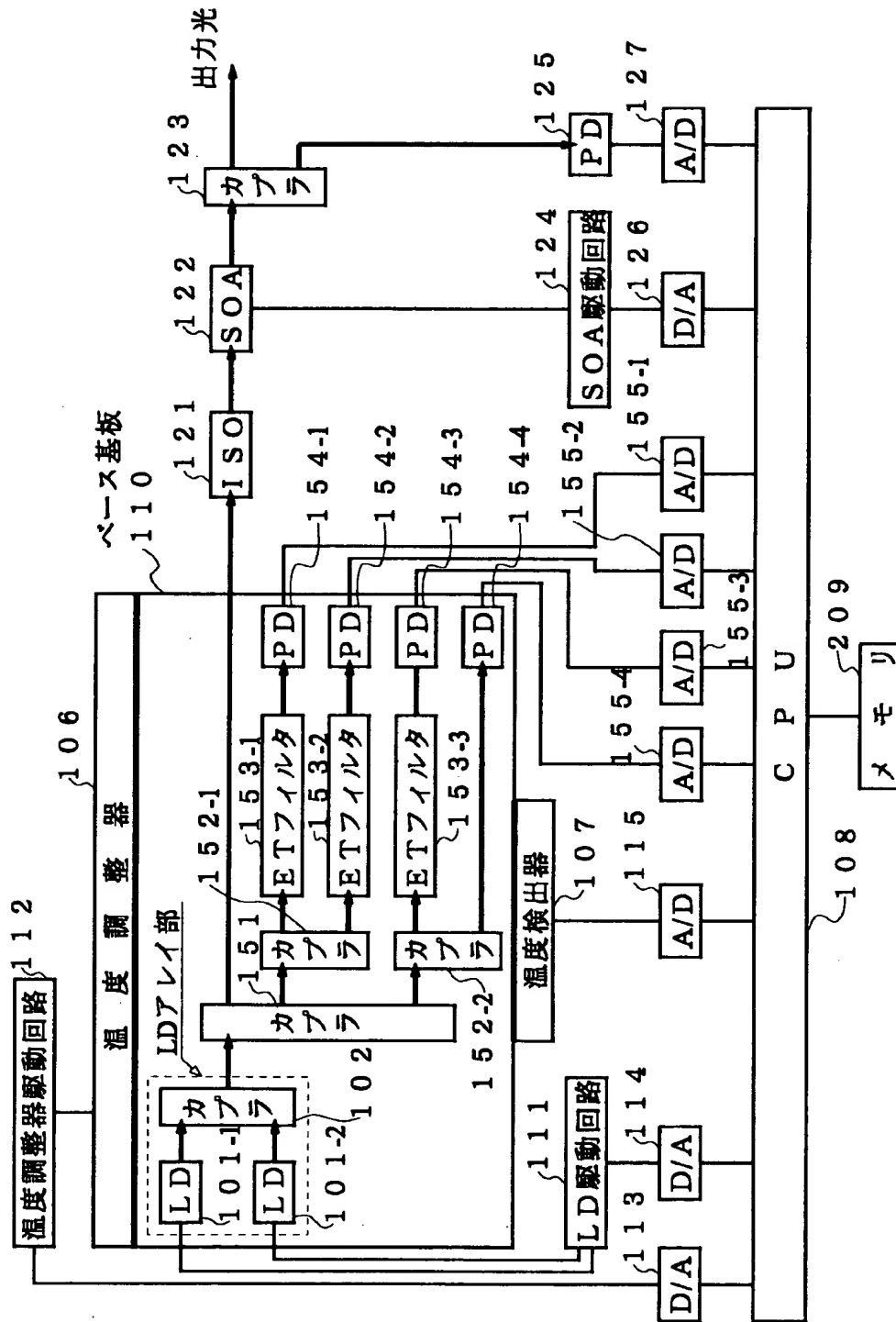
【図 8】

第 3 の実施形態のフローチャート



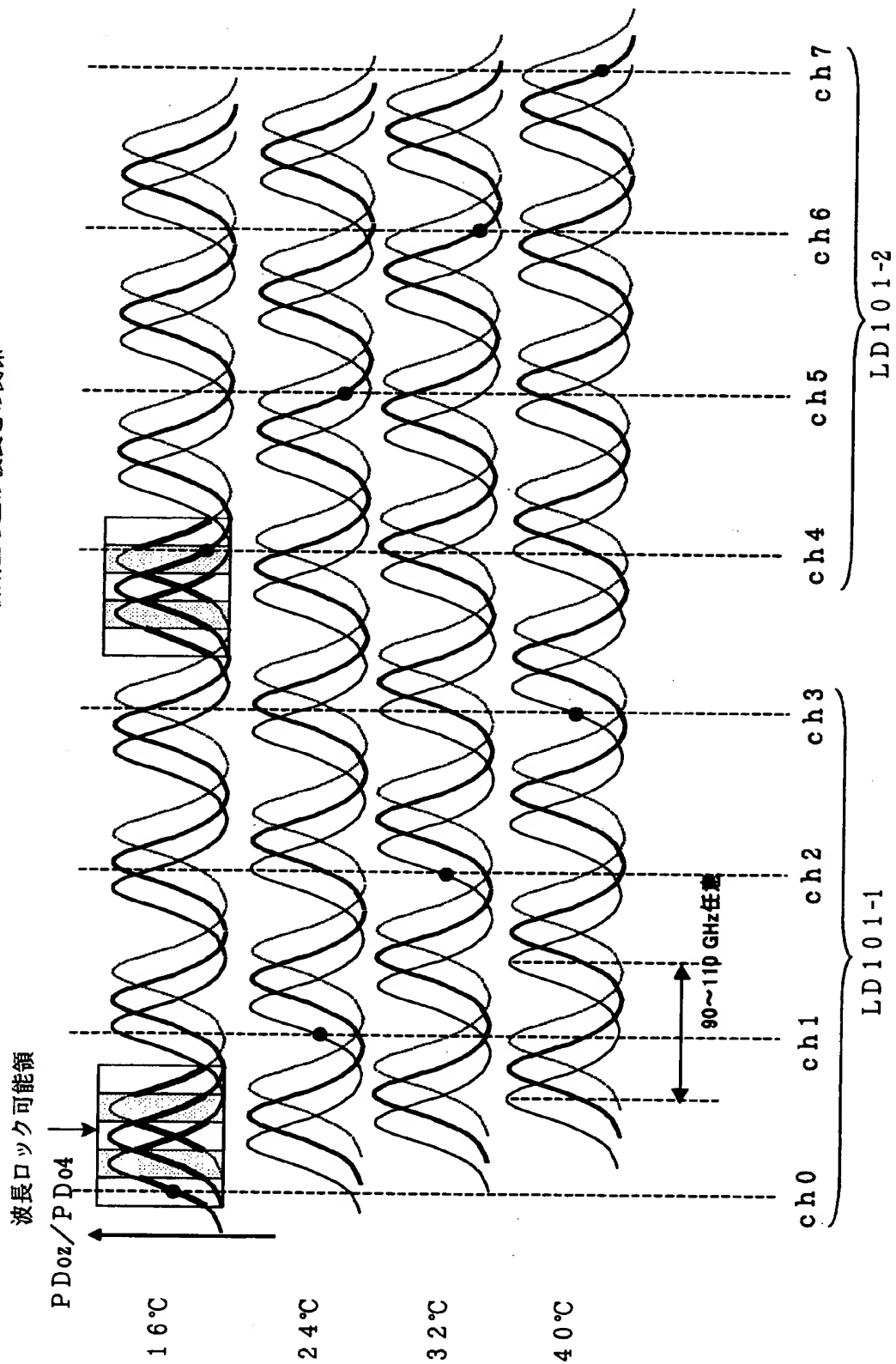
【図 9】

第 4 の実施形態の波長可変安定化レーザの構成



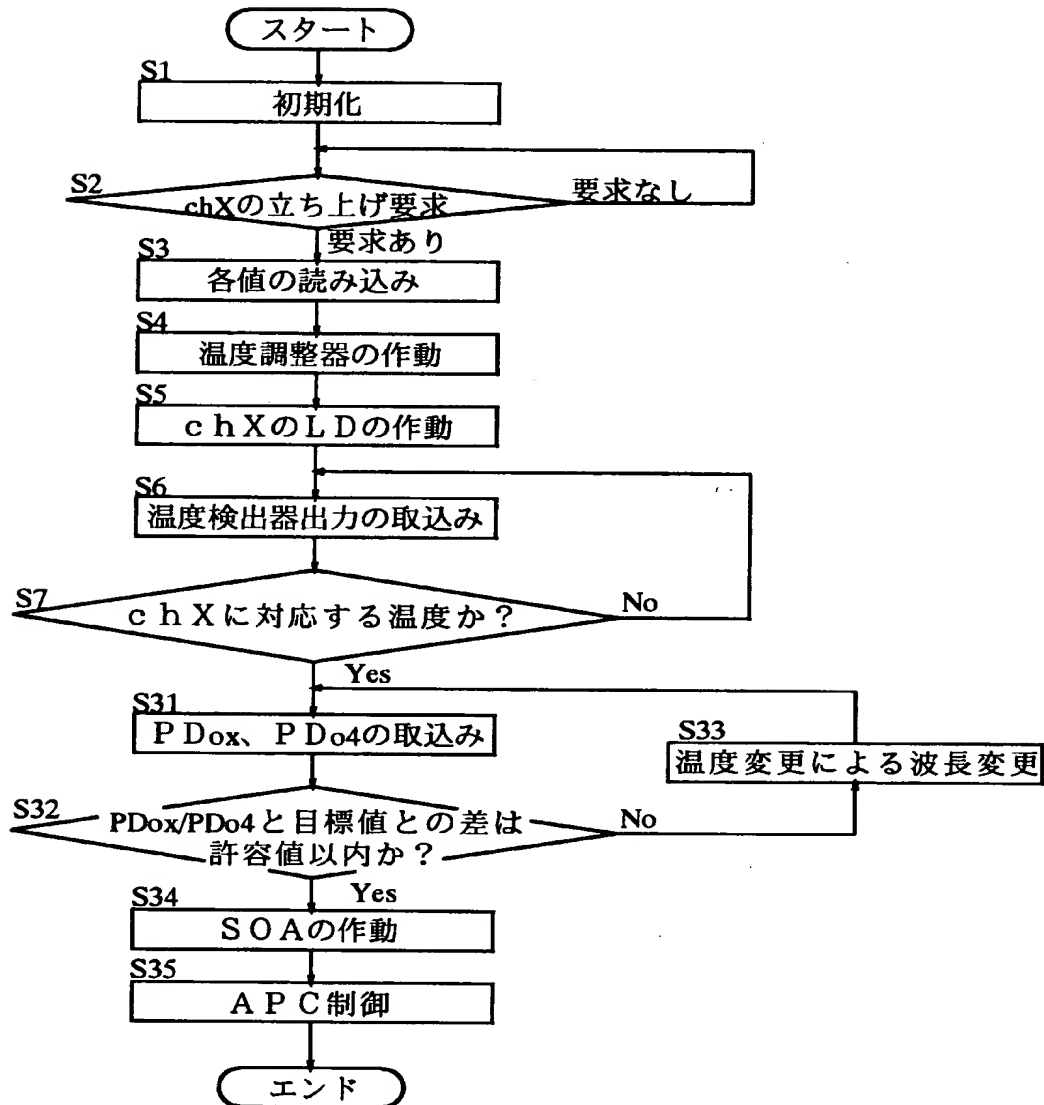
【図 1 0】

第 4 の実施形態における各 c h のロック点と初期立ち上げ波長との関係



【図 1 1】

第 4 の実施形態のフローチャート



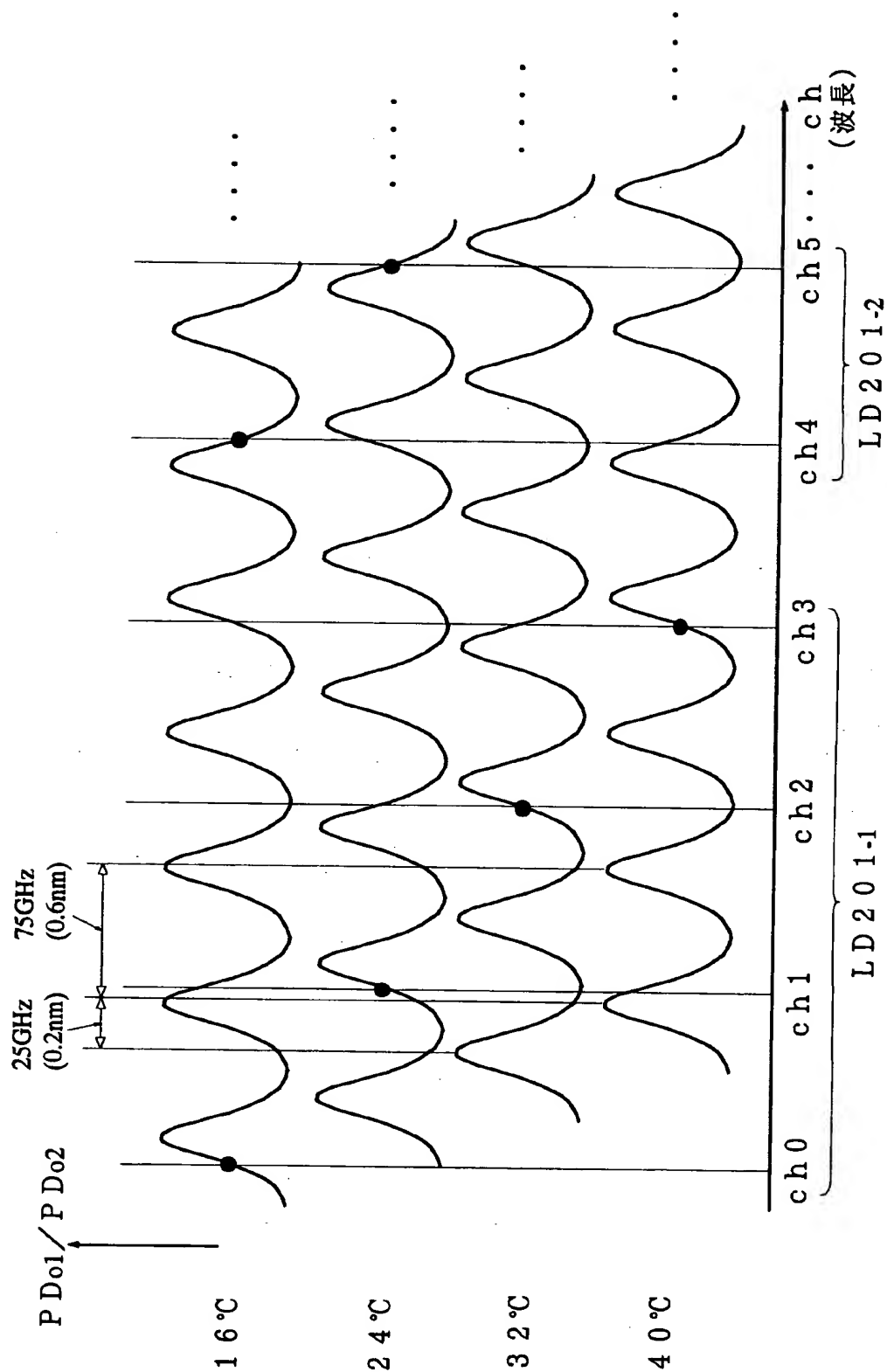
【図 12】

第5の実施形態の各LDにおける素子温度、chおよびグリッドの間の関係

素子温度 (°C)	チャンネル	グリッド		LD
		(nm)	(THz)	
16	ch0	1535.82	195.20	LD201-1
24	ch1	1536.61	195.10	
32	ch2	1537.40	195.00	
40	ch4	1538.19	194.90	
16	ch5	1538.98	194.80	LD201-2
24	ch6	1539.77	194.70	
32	ch7	1540.56	194.60	
40	ch8	1541.35	194.50	
16	ch9	1542.14	194.40	LD201-3
24	ch10	1542.94	194.30	
32	ch11	1543.73	194.20	
40	ch12	1544.53	194.10	
16	ch13	1545.32	194.00	LD201-4
24	ch14	1546.12	193.90	
32	ch15	1546.92	193.80	
40	ch16	1547.72	193.70	
16	ch17	1548.51	193.60	LD201-5
24	ch18	1549.32	193.50	
32	ch19	1550.12	193.40	
40	ch20	1550.92	193.30	
16	ch21	1551.72	193.20	LD201-6
24	ch22	1552.52	193.10	
32	ch23	1553.33	193.00	
40	ch24	1554.13	192.90	
16	ch25	1554.94	192.80	LD201-7
24	ch26	1555.75	192.70	
32	ch27	1556.55	192.60	
40	ch28	1557.36	192.50	
16	ch29	1558.17	192.40	LD201-8
24	ch30	1558.98	192.30	
32	ch31	1559.79	192.20	
40	ch32	1560.61	192.10	

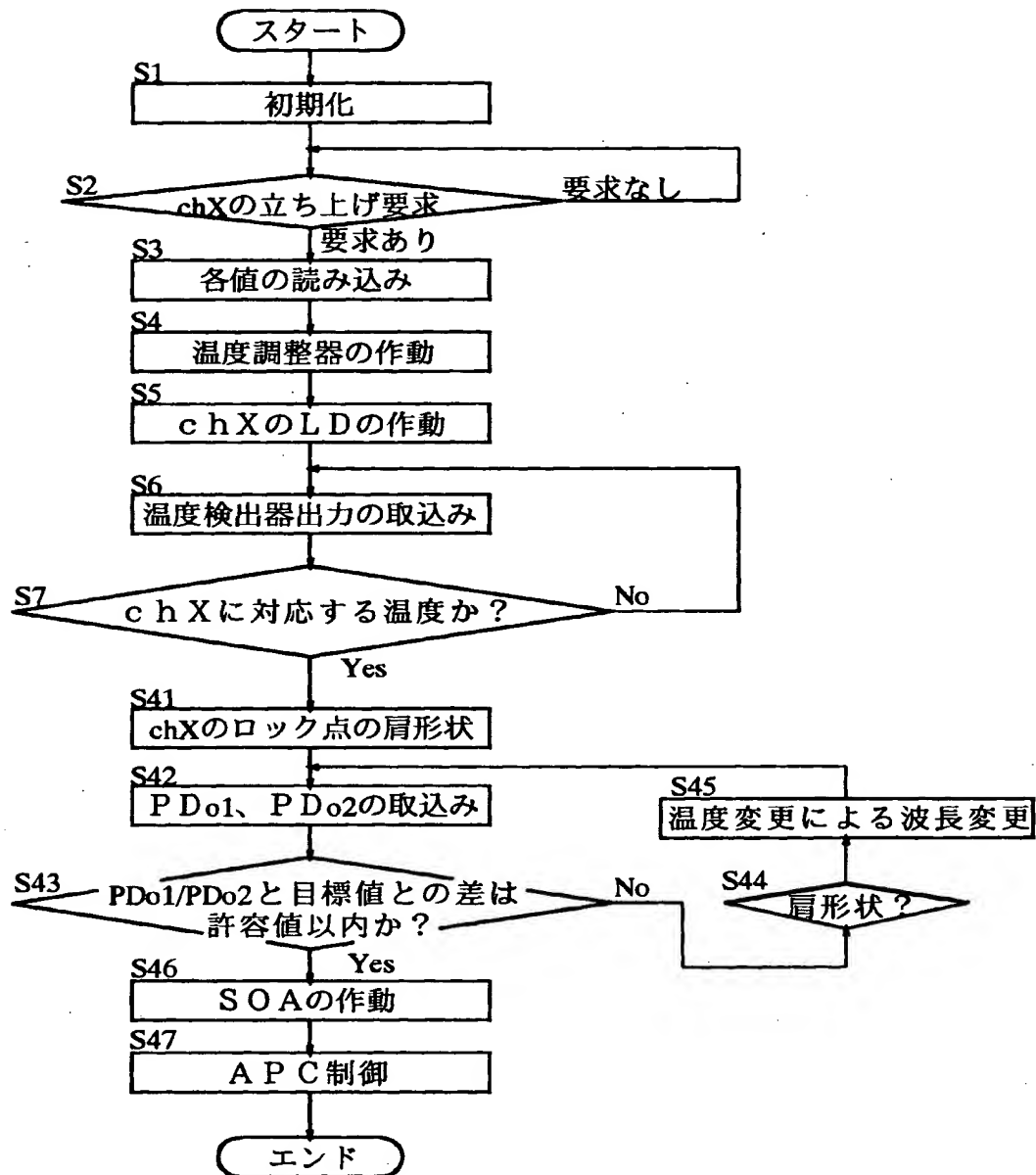
【図 1 3】

第 5 の実施形態における透過波長特性と各 ch のロック点との関係

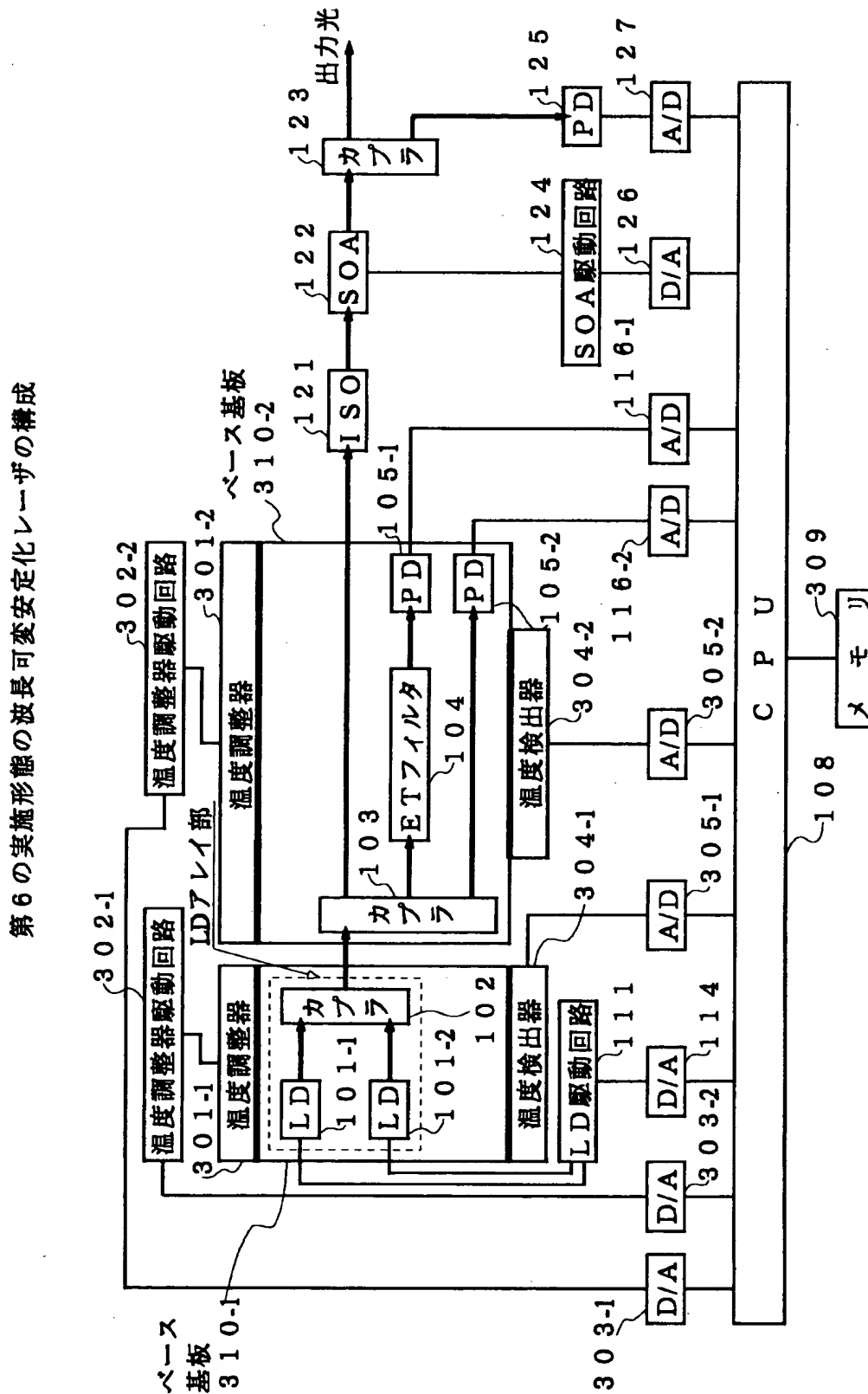


【図 1 4】

第 5 の実施形態のフローチャート

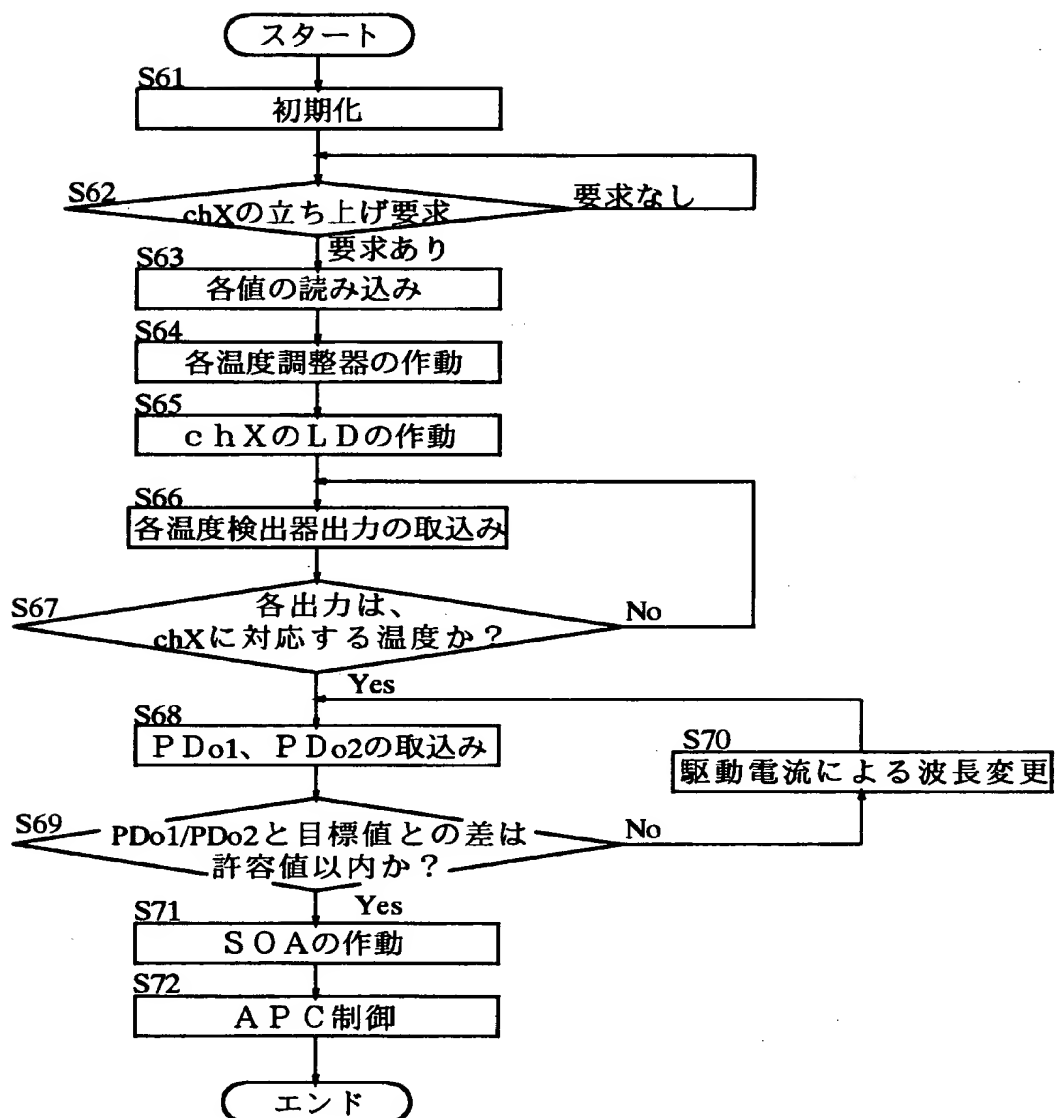


【図 15】



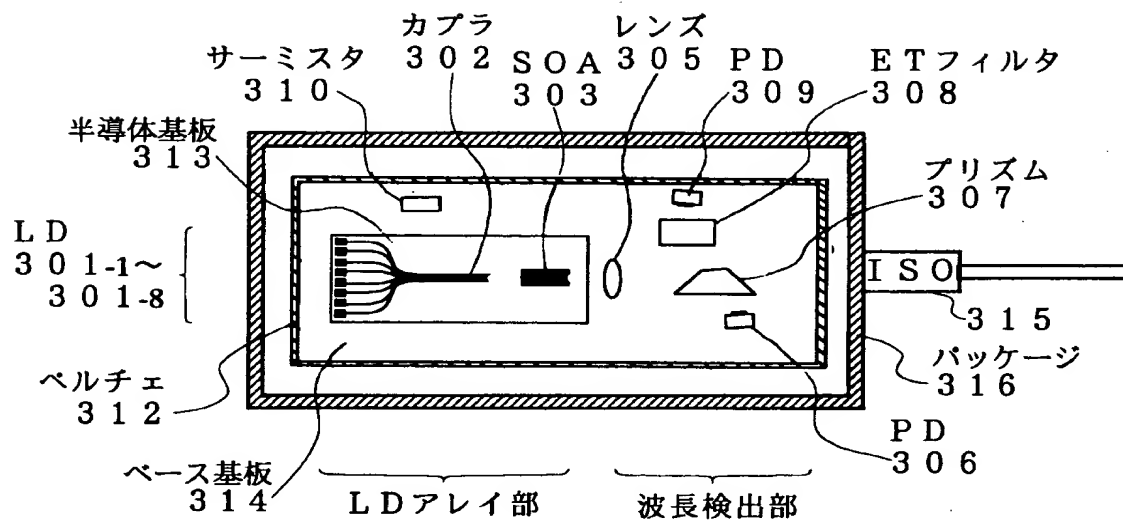
【図 1 6】

第 6 の実施形態のフローチャート



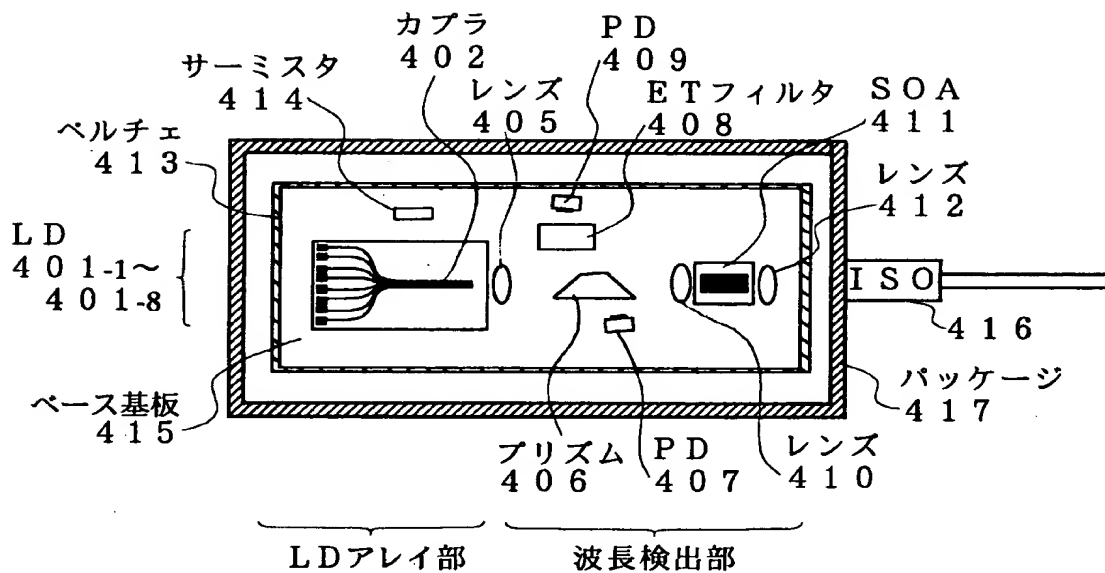
【図 17】

波長可変安定化レーザのモジュールの第 1 構成例



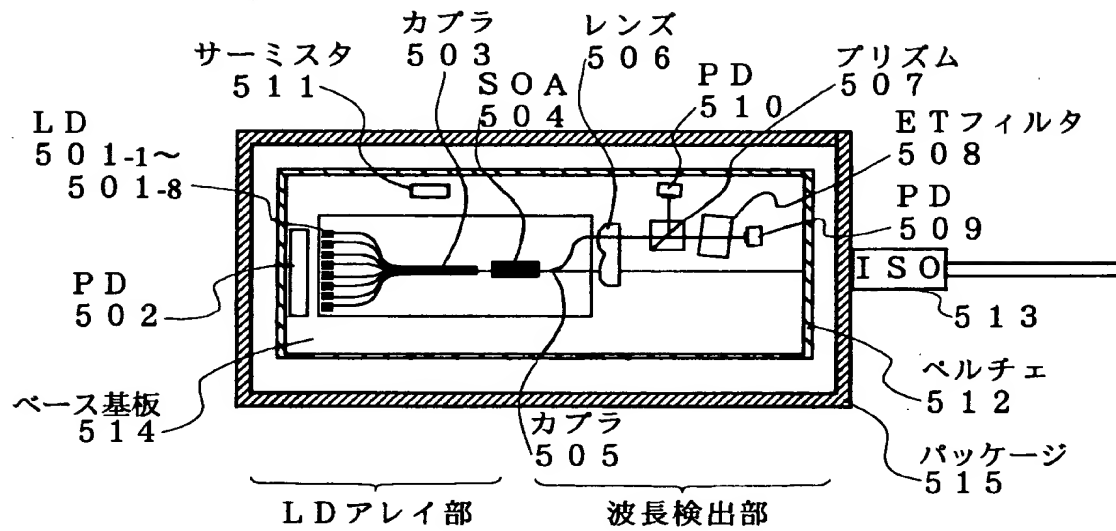
【図18】

波長可変安定化レーザのモジュールの第2構成例



【図 19】

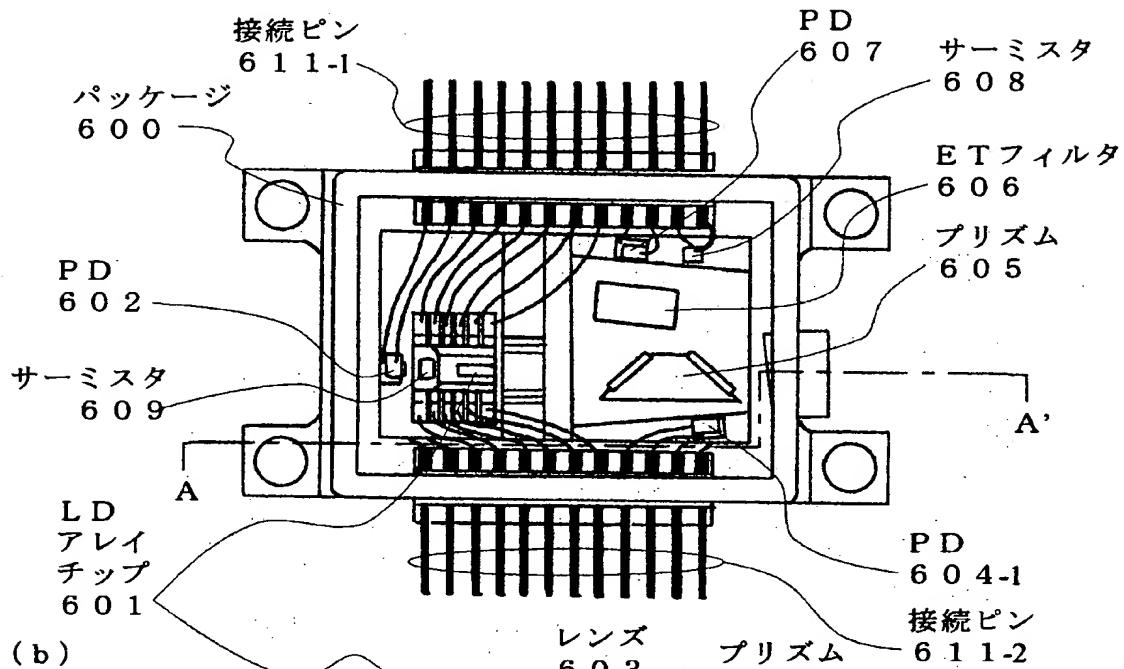
波長可変安定化レーザのモジュールの第3構成例



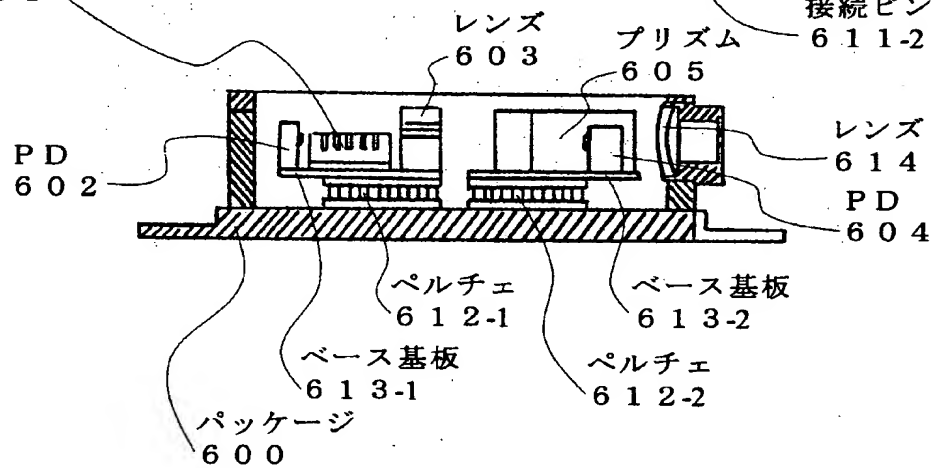
【図20】

波長可変安定化レーザのモジュールの第4構成例

(a)

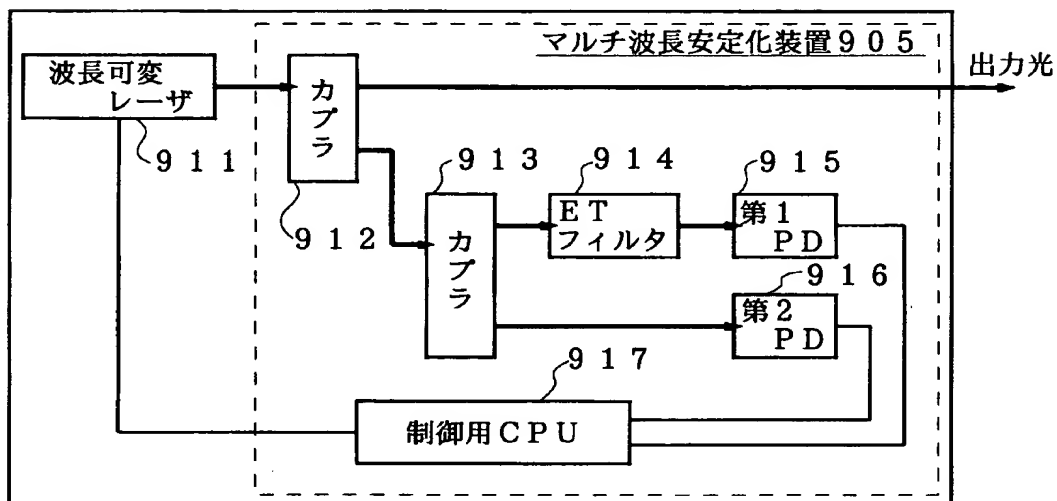


(b)

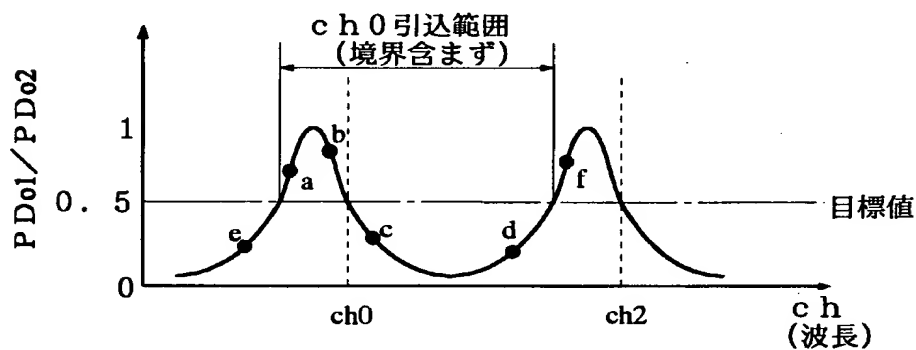


【図 2 1】

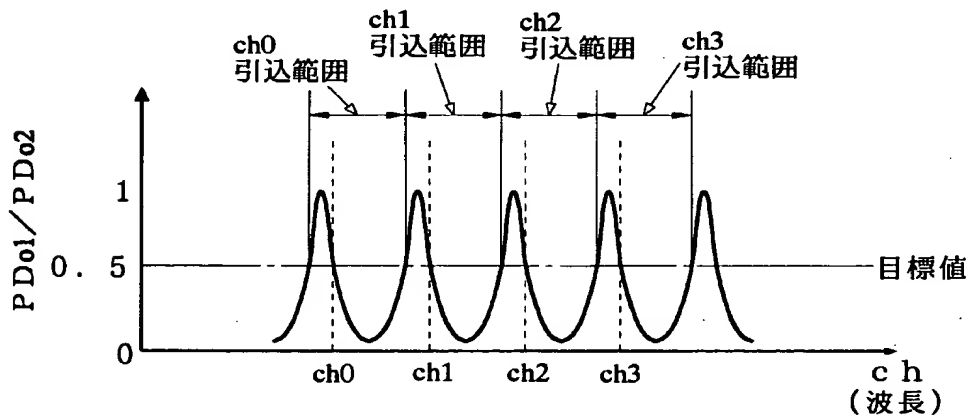
(a) 従来のWDM方式用光源装置の構成図



(b) ch0に波長をロックする場合の説明図

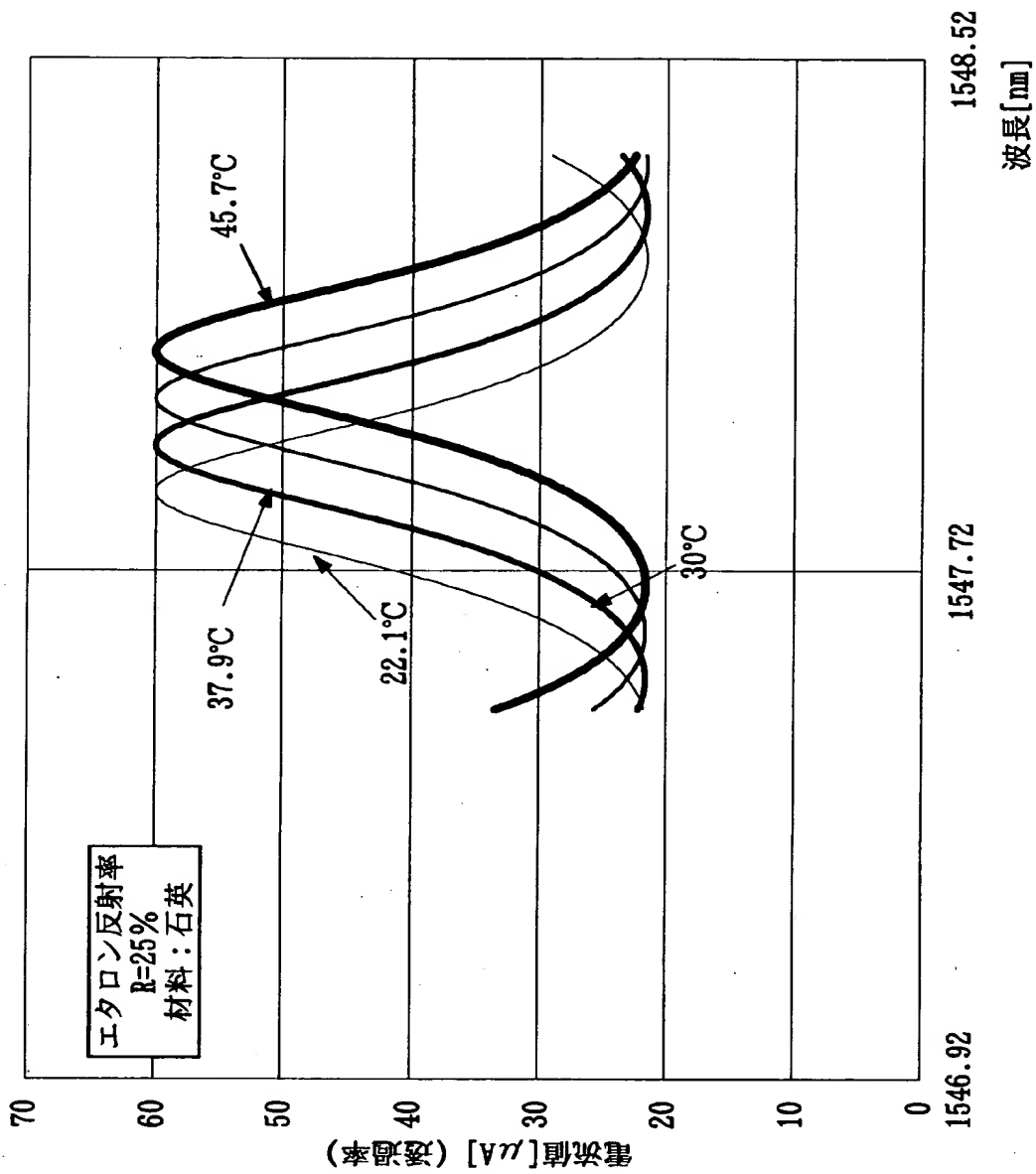


(c) 従来のマルチ波長安定化装置における各引込範囲と各chとの関係図



【図 2 2】

エタロン波長特性



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 本発明は、射出される１波のレーザの波長を変更することができる波長可変安定化レーザにおいて、この射出されるレーザ光の波長を所望の波長に固定することができる波長可変安定化レーザに関する。

【解決手段】 本発明は、光源１１、周期的フィルタ１２、光検出部１３および制御部１４を備え、制御部１４は、光源１１内の複数個のレーザのうちからいずれか１個のレーザを発振させるとともに、周期的フィルタ１２を介して入射されるレーザ光を受光した光検出部１３の出力が、複数の波長ごとに設定される複数の目標値のうちからいずれか１個の目標値になるように発振波長を制御する。このような波長可変安定化レーザでは、発振可能な波長ごとに複数の目標値を設定するので、複数の波長のなかから所望の波長のレーザ光を発振させることができ、しかもその波長に安定化することができる。

【選択図】 図１

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005223]

1. 変更年月日 1996年 3月26日

[変更理由] 住所変更

住 所 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
氏 名 富士通株式会社